



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA ENCODER-  
DECODER KODE BOSE, CHAUDHURI, HOCQUENGHEM  
(BCH) MENGGUNAKAN *M*-ARY QUADRATURE AMPLITUDE  
MODULATION (M-QAM) PADA WIRELESS OPEN-ACCESS  
RESEARCH PLATFORM (WARP)**

**Amilatul Husna  
NRP 2213105038**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Suwadi, MT  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF  
ENCODER-DECODER BOSE, CHAUDHURI, HOCQUENGHEM  
(BCH) USING M-ARY *QUADRATURE* AMPLITUDE  
MODULATION (M-QAM) IN WIRELESS OPEN-ACCESS  
RESEARCH *PLATFORM* (WARP)**

**Amilatul Husna  
NRP 2213105038**

**Advisor  
Dr. Ir. Suwadi, MT  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT**

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institut Of Techology  
Surabaya 2015**

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA  
ENCODER-DECODER BOSE, CHAUDHURI, HOCQUENGHEM  
(BCH) PADA M-ARY QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION  
(M-QAM) MENGGUNAKAN WIRELESS  
OPEN-ACCESS RESEARCH PLATFORM (WARP)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

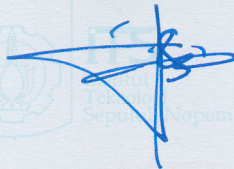
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

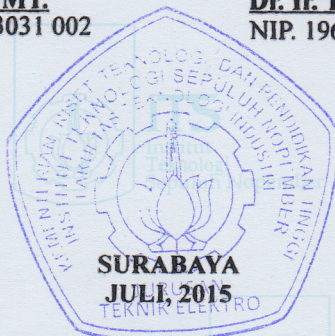


**Dr. Ir. Suwadi, MT.**  
**NIP. 19680818 1993031 002**

**Dosen Pembimbing II**



**Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.**  
**NIP. 19641130 1989032001**



**Implementasi dan Evaluasi Kinerja Encoder-Decoder Bose,  
Chaudhuri, Hocquenghem (BCH) Menggunakan *M*-ary Quadrature  
Amplitude Modulation (M-QAM) pada *Wireless Open-Access  
Research Platform* (WARP)**

**Nama** : Amilatul Husna  
**Pembimbing** : Dr. Ir. Suwadi, MT  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT

**ABSTRAK**

Dalam perkembangan transmisi data pada komunikasi bergerak dibutuhkan sistem yang memiliki keunggulan. Keunggulan itu bisa berupa efisiensi *bandwidth* yang lebih baik, *Bit Error Rate* (BER) yang rendah dan kapasitas *user* yang banyak. Teknik modulasi M-QAM adalah salah satu teknik modulasi digital multi level yang saat ini banyak digunakan pada sistem komunikasi. Sedangkan untuk membuat nilai BER yang rendah dapat ditambahkan teknik pengkodean kanal salah satunya yaitu menggunakan Bose, Chaudhuri dan Hocquenghem (BCH). Kode BCH merupakan salah satu metode pendeteksi dan pengoreksi *error* yang terjadi secara acak, yang mampu mengoreksi beberapa kesalahan (*multiple error*) sekaligus dan merupakan pengembangan dari metode kode Hamming.

Pada Tugas Akhir ini dibuat sistem kode BCH yang terdiri dari *encoder* dan *decoder* BCH, dimana modulasi yang digunakan adalah M-QAM. Sistem ini diimplementasikan menggunakan perangkat WARP dengan menggunakan Matlab versi 2012 WARPLab versi 7.1. Nilai BER semakin besar terhadap bertambahnya jarak antar node untuk daya pancar tetap, menandakan jarak sangat mempengaruhi kualitas kinerja teknik modulasi M-QAM pada WARP, dimana nilai BER untuk 4-QAM dengan BCH (7,4) mencapai nilai 0 untuk jarak 3 meter hanya membutuhkan daya pancar -27 dBm sedangkan untuk jarak 6 meter dibutuhkan -21.25 dBm. Hasil pengukuran dengan menggunakan kode BCH memiliki nilai error lebih kecil dibandingkan tanpa pengkodean. Coding gain untuk modulasi 4-QAM jarak 3 meter saat nilai BER =  $10^{-3}$  yaitu BCH(7,4) terlihat gain coding sebesar 5 dB, BCH(15,7) sebesar 7,3 dB dan BCH(31,16) sebesar 11,3 dB.

**Kata Kunci** : *Bit Error Rate*, M-QAM, BCH, *Wireless Open-Access Research Platform*



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ***Implementation and Performance Evaluation of BCH Code using M-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM) Communications Systems in Wireless Open-Access Research Platform (WARP)***

**Name** : Amilatul Husna  
**Advisor** : Dr. Ir. Suwadi, MT  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT

## **ABSTRACT**

*In the development of data transmission in mobile communication systems have the advantage needed. The advantages that can be a better bandwidth efficiency, the value of Bit Error Rate (BER) is low and the capacity of many users. M-QAM modulation technique is one of the multi-level digital modulation technique is currently widely used in communication systems. By adding channel coding, BER value is decrease and good performance is given by this system. One type of channel coding is Bose, Chaudari dan Hocquenghem (BCH). With this code, error will be corrected using random correction method which can correct multiple error. In this final project, system is implemented using WARP verssion 7.1 with Matlab version 2014. From the measurement, BER value is increasing by adding spacing between transmitter and receiver which indicate the space is also influence performance of the system. The value of power transmit for 4-QAM using BCH (7,4) to reach  $BER = 0$  is -27 dBm in 3 meter while in 6 meter is 21.25 dBm which indicate the shorter space have better performance. By using BCH code, the BER value is decrease compared to system without BCH code based on the result of measurement. Coding gain for 4-QAM in 3 meter when  $BER = 10^{-3}$  is BCH(7,4) shows 5 dB, BCH(15,7) is 7,3 dB and BCH(31,16) shows 11,3 dB.*

**Keywords:** *Bit Error Rate, M-QAM, Single-Input Single-Output, Software Defined Radio, Wireless Open-Access Research Platform*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT yang telah memberikan penulis umur dan hidayah untuk menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan judul :

***“Implementasi dan Evaluasi Kinerja Kode BCH Menggunakan M-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM) pada Wireless Open-Access Research Platform (WARP)”***

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar studi strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Telekomunikasi Multimedia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan ini penulis sampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua serta kakak tercinta atas dukungan dalam segala hal hingga sampai saat ini. Semoga Allah masih memberi saya kesempatan membalas jasa-jasa mereka.
2. Dr. Ir. Suwadi, MT dan Dr. Ir. Titiek Suryani, MT selaku dosen pembimbing, terima kasih atas bimbingan serta masukan yang diberikan selama masa perkuliahan dan juga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan ibu dosen pengajar bidang studi Teknik Telekomunikasi dan Multimedia, Jurusan Teknik Elektro atas ilmu dan bimbingannya.
4. Teman - teman TMM LJ 2013 atas semua pengalaman, kebersamaan baik suka maupun duka, warna – warni dalam waktu 1,5 tahun ini, kalian adalah keluarga kedua dan kelas yang akan selalu terkenang sampai kelak. Semoga kita masih bisa menjaga silaturahmi kedepannya.
5. Keluarga besar Lab. Komunikasi Multimedia, khususnya tim WARP dan tim M-QAM atas kerja samanya selama pengerjaan tugas akhir ini.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
DAFTAR ISI.....	vii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Tugas Akhir .....	2
1.5. Metodologi Penelitian .....	2
1.6. Sistematika Penelitian .....	6
BAB II TEORI PENUNJANG.....	7
2.1 <i>Error Correcting Code</i> .....	7
2.2 Konsep Penyandian Siklis.....	8
2.3 Bose, Chaudhury, Hocquenghem (BCH) .....	9
2.3.1 Polinomial Generator.....	10
2.3.2 Galois Field .....	12
2.3.3 Encoding pada Kode BCH .....	15
2.3.4 Perhitungan Sindrom .....	17
2.4 Modulasi Digital .....	18
2.4.1 <i>M-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM)</i> ....	19
2.2.2 Penentuan Amplitudo Sinyal .....	20
2.2.3 Gray Mapping (Gray Coding) .....	20
2.5 <i>Filter Raised Cosine</i> .....	22
2.6 Teknik Estimasi BER (Bit Error Rate).....	23
2.7 <i>Software Defined Radio (SDR)</i> .....	24
2.8 Wireless Open Access Research Platform (WARP).....	25
2.8.1 Arsitektur Platform[7] .....	26
2.8.2 Design Arsitektur WARPLab[7] .....	27
2.8.3 Gambaran Framework WARPLab[12].....	29
2.8.4 Spesifikasi WARPLab[7] .....	29
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM .....	31



3.1	Alur Perancangan Sistem.....	31
3.2	Perancangan Sistem .....	33
3.4.1	Pada Sisi Pengirim dan Penerima.....	33
3.4.2	Pada Kanal .....	47
3.3	Metode Pengukuran .....	48
3.4	Sistem .....	48
3.4.3	Karakteristik Radio Board WARP versi 1.4.....	48
3.4.4	Integrasi PC dengan modul WARP .....	50
3.4.5	Proses Pengiriman Sinyal dan Komunikasi.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		49
4.1.	Konstelasi Simbol pada Penerima .....	49
4.2.	Kinerja Pengkodean BCH dan Tanpa Pengkodean terhadap Gain pada Pemancar .....	51
4.2.1.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 4-QAM.....	51
4.2.2.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 8-QAM.....	56
4.2.3.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 16-QAM.....	60
4.2.4.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 32-QAM.....	64
4.2.5.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 64-QAM.....	67
4.3.	Kinerja Pengkodean BCH pada Modulasi M-QAM .....	70
4.3.1	Kinerja kode BCH (7,4) dengan perubahan modulasi QAM .....	71
4.3.2	Kinerja kode BCH (15,7) dengan perubahan modulasi QAM .....	72
4.3.3	Kinerja kode BCH (31,16) dengan perubahan modulasi QAM .....	74
4.4.	Kinerja Pengkodean BCH dan Tanpa Pengkodean terhadap Eb/No.....	75
4.4.1	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 4-QAM.....	75
4.4.2	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 8-QAM.....	77

4.4.3	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 16-QAM.....	79
BAB V	PENUTUP.....	103
5.1	Kesimpulan .....	103
5.2	Saran .....	103
DAFTAR	PUSTAKA .....	105
LAMPIRAN A	.....	107
LAMPIRAN B	.....	109
LAMPIRAN C	.....	117
LAMPIRAN D	.....	118

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Polinomial Primitif pada $GF(2^m)[1]$ .....	10
Tabel 2. 2 Konjugasi dari $GF(2^3)$ .....	11
Tabel 2. 3 Konjugasi dari $GF(2^4)$ .....	11
Tabel 2. 4 Konjugasi dari $GF(2^5)$ .....	12
Tabel 2.5 Representasi $\alpha$ dari elemen $GF(2^4)$ dibangkitkan oleh .....	13
Tabel 2. 6 Representasi $\alpha$ dari elemen $GF(2^5)$ dibangkitkan oleh .....	13
Tabel 3. 1 Desain parameter sistem komunikasi SISO dengan pengkodean BCH .....	31
Tabel 3. 2 Susunan kode BCH .....	32
Tabel 3. 3 Parameter desain <i>raised cosine filter</i> dan <i>matched filter</i> .....	40
Tabel 4. 1 Data Hasil pengukuran 4-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter .....	52
Tabel 4. 2 Data Hasil pengukuran 4-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter .....	53
Tabel 4. 3 Data Hasil pengukuran 8-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter .....	57
Tabel 4. 4 Data Hasil pengukuran 8-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter .....	58
Tabel 4. 5 Data Hasil pengukuran 16-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter .....	61
Tabel 4. 6 Data Hasil pengukuran 16-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter .....	63
Tabel 4. 7 Data Hasil pengukuran 32-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter .....	64
Tabel 4. 8 Data Hasil pengukuran 32-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter .....	66
Tabel 4. 9 Data Hasil pengukuran 64-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter .....	68
Tabel 4. 10 Data Hasil pengukuran 64-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter .....	69

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Elemen kode BCH .....	9
Gambar 2. 2 BCH (7,4) dalam bentuk blok .....	9
Gambar 2.3 Proses Modulasi M-QAM.....	19
Gambar 2.4 Proses Demodulasi M-QAM.....	20
Gambar 2.5 Konstelasi sinyal 4-QAM.....	21
Gambar 2.6 Konstelasi sinyal 8-QAM.....	21
Gambar 2.7 Konstelasi sinyal 16-QAM.....	22
Gambar 2.8 Arsitektur SDR.....	25
Gambar 2.9 Komponen-komponen Platform.....	26
Gambar 2.10 Design Arsitektur WARPLab .....	28
Gambar 2.11 <i>Setup</i> WARPLab .....	29
 Gambar 3. 1 Diagram alir perancangan sistem .....	 32
Gambar 3. 2 Blok desain implementasi sistem <i>transmitter</i> .....	34
Gambar 3. 3 Blok desain implementasi sistem <i>receiver</i> .....	34
Gambar 3. 4 Proses pengkodean BCH (7,4) .....	35
Gambar 3. 5 Konstelasi simbol pada level modulasi : (a) 4-QAM (b) 8-QAM (c) 16-QAM (d) 32-QAM (e) 64-QAM .....	38
Gambar 3. 6 Susunan <i>pilot</i> dan symbol .....	38
Gambar 3. 7 Struktur <i>Frame</i> Komunikasi .....	39
Gambar 3. 8 Respon impulse filter <i>square-root raised-cosine</i> .....	40
Gambar 3. 9 Kondisi kanal <i>nirkabel</i> diruangan <i>indoor</i> .....	42
Gambar 3. 10 Radio Versi 1.4 .....	43
Gambar 3. 11 Tx Output Power vs Gain Setting MAX2829 [8].....	44
Gambar 3. 12 Blok Diagram Radio Board [7] .....	45
Gambar 3. 13 Konfigurasi sistem komunikasi SISO dengan WARP ....	46
Gambar 3. 14 Indikator keberhasilan Integrasi PC dengan WARP .....	47
 Gambar 4. 1 Hasil Konstelasi 4-QAM pada daya pancar : (a) -31 dBm (b) -19 dBm dan (c) -13 dBm.....	 51
Gambar 4. 2 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 4-QAM pada jarak 3 meter.....	52
Gambar 4. 3 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 4-QAM pada jarak 6 meter.....	54



Gambar 4. 4 <i>Gain Coding</i> Pengkodean BCH terhadap Ptx dengan modulasi 4-QAM pada jarak 3 meter .....	55
Gambar 4. 5 <i>Gain Coding</i> Pengkodean BCH terhadap Ptx dengan modulasi 4-QAM pada jarak 6 meter .....	56
Gambar 4. 6 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 8-QAM pada jarak 3 meter .....	57
Gambar 4. 7 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 8-QAM pada jarak 6 meter .....	59
Gambar 4. 8 <i>Gain Coding</i> Pengkodean BCH terhadap Ptx dengan modulasi 8-QAM pada jarak 3 meter .....	60
Gambar 4. 9 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 16-QAM pada jarak 3 meter .....	61
Gambar 4. 10 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 16-QAM pada jarak 6 meter .....	63
Gambar 4. 11 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 32-QAM pada jarak 3 meter .....	66
Gambar 4. 12 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 32-QAM pada jarak 6 meter .....	67
Gambar 4. 13 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 64-QAM pada jarak 3 meter .....	69
Gambar 4. 14 Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 64-QAM pada jarak 6 meter .....	70
Gambar 4. 15 Kurva BER kinerja kode BCH (7,4) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m.....	71
Gambar 4. 16 Kurva BER kinerja kode BCH (7,4) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m.....	72
Gambar 4. 17 Kurva BER kinerja kode BCH (15,7) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m.....	73
Gambar 4. 18 Kurva BER kinerja kode BCH (15,7) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m.....	73
Gambar 4. 19 Kurva BER kinerja kode BCH (31,16) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m.....	74
Gambar 4. 20 Kurva BER kinerja kode BCH (31,16) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m.....	75
Gambar 4. 21 Grafik BER Kode BCH terhadap Eb/No dengan modulasi 4-QAM pada jarak 3 meter.....	76

Gambar 4. 22 Grafik BER Kode BCH terhadap Eb/No dengan modulasi  
4-QAM pada jarak 6 meter .....77

Gambar 4. 23 Grafik BER Kode BCH terhadap Eb/No dengan modulasi  
8-QAM pada jarak 3 meter .....78

Gambar 4. 24 Grafik BER Kode BCH terhadap Eb/No dengan modulasi  
8-QAM pada jarak 6 meter .....78

Gambar 4. 25 Grafik BER Kode BCH terhadap Eb/No dengan modulasi  
16-QAM pada jarak 3 meter .....79

Gambar 4. 26 Grafik BER Kode BCH terhadap Eb/No dengan modulasi  
16-QAM pada jarak 6 meter .....80

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam perkembangan transmisi data pada komunikasi bergerak dibutuhkan sistem yang memiliki keunggulan. Suatu sistem komunikasi tersebut harus dapat memberikan transfer data yang handal dan tahan terhadap gangguan atau noise yang terdapat pada kanal transmisi. Dimana gangguan noise tersebut dapat menyebabkan distorsi sinyal dan mempengaruhi nilai *signal to noise ratio* (SNR). Untuk mengatasi error tersebut diperlukan suatu pengkodean kanal. Pengkodean ini bertujuan mengoreksi kesalahan atau error yang terjadi. Pengkodean tidak hanya dapat mengoreksi error namun juga menawarkan suatu algoritma pengkodean dan pendekodean yang efisien.

Kode BCH adalah kode pengoreksi kesalahan jamak yang berulang. Kode ini ditemukan oleh Bose, Chaudhuri dan Hocquenghem pada 1959. Kode ini merupakan sebuah kelas yang berisikan kode-kode siklis pengoreksi kesalahan. Kode BCH merupakan sebuah kode yang cukup menonjol dalam bidang pengoreksi kesalahan jamak (*multiple error*) secara teoritis maupun praktik.

Teknik modulasi merupakan salah satu faktor yang menentukan keunggulan suatu sistem komunikasi. Keunggulan tersebut bisa berupa efisiensi *bandwidth* yang lebih baik, *Bit Error Rate* (BER) yang rendah, kapasitas *user* yang banyak dan sebagainya. Teknik modulasi digital telah dikembangkan penggunaannya secara luas dalam berbagai layanan komunikasi. Dengan modulasi digital, sinyal informasi dalam bentuk *binary digit* (bit-bit) dimodulasi dan dikirimkan melalui kanal komunikasi (saluran transmisi) untuk dapat disampaikan ke penerima. Teknik modulasi M-QAM adalah salah satu teknik modulasi digital multi level yang saat ini banyak digunakan pada sistem komunikasi. Hal ini disebabkan karena konstelasi sinyal M-QAM yang tidak begitu rapat dan kemungkinan terjadinya *bit error* lebih kecil, bila dibandingkan dengan sistem modulasi lainnya seperti M-ary Quadrature Phase Shift Keying (M-QPSK). Teknik M-QAM akan diimplementasikan pada WARP secara *real-time* dengan meninjau *Bit Error Rate* (BER) terhadap variasi  $E_b/N_0$  untuk simulasi dan variasi daya pancar pada pengirim untuk pengukuran menggunakan WARP.

## 1.2. Perumusan Masalah

Masalah yang diharapkan untuk ditemukan solusinya melalui tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbedaan modulasi M-QAM dengan encoder-decoder BCH dan tanpa encoder-decoder BCH encoder-decoder BCH dengan menggunakan modul WARP.
2. Berapa kombinasi nilai  $(n,k,t)$  pada kode BCH yang mampu memperbaiki kinerja pada M-ary QAM dengan nilai M tertentu.

## 1.3. Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada, maka dalam prakteknya akan dibatasi seperti:

1. Matlab yang digunakan merupakan matlab versi 2012.
2. WARP yang digunakan merupakan WARPLab versi 7.1
3. Modulasi yang digunakan yaitu M-QAM.
4. Daerah pengukuran dibatasi dalam lingkungan *indoor*.

## 1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dan manfaat yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

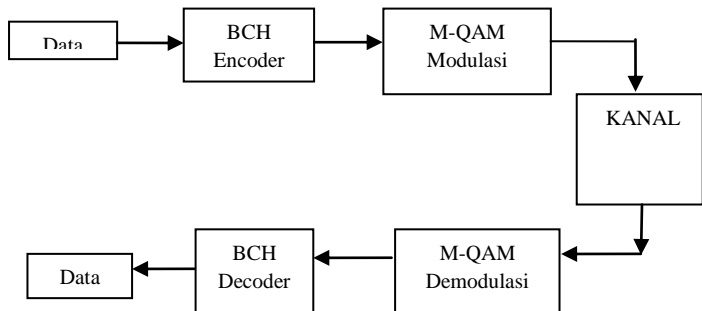
1. Mengetahui perbedaan M-QAM dengan dan tanpa kode BCH yang diimplementasikan menggunakan modul WARP
2. Mengetahui kombinasi nilai  $(n,k)$  pada kode BCH yang mampu memperbaiki `kinerja pada M-ary QAM dengan nilai M tertentu

## 1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang dijabarkan diatas bisa digolongkan sebagai berikut:

1. Studi Pustaka  
Untuk teori yang dijadikan rujukan berkaitan dengan materi yang dibahas pada tinjauan pustaka. Studi pustaka juga akan mengambil sumber-sumber yang berkaitan dengan:
  - Sesuai tema yang dijabarkan pada bagian ruang lingkup tugas akhir.
  - Simulasi sistem komunikasi
  - Desain teknik modulasi digital

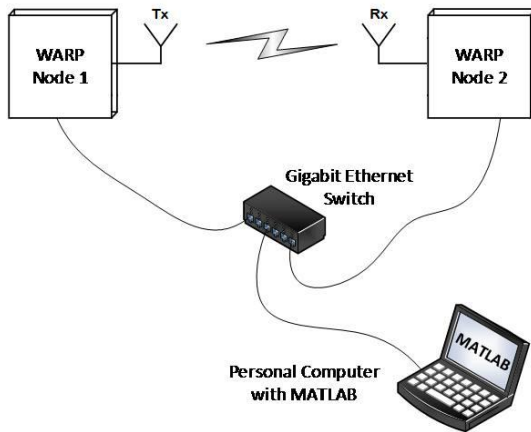
- Desain penerima digital
  - Referensi pemrograman modul WARP
  - Referensi WARPLab
2. Perumusan parameter unjuk kerja dan metode pengukurannya  
Sebelum proses pengukuran bisa berjalan, parameter performansi, yaitu yang menunjukkan kualitas unjuk kerja sistem komunikasi, dirumuskan dan ditentukan metode pengukurannya. Pada tahapan ini, akan ditentukan misalnya, band frekuensi pengukuran, informasi yang akan dipancarkan, jumlah-jumlah bit yang akan ditransmisikan, kondisi frame yang dipancarkan, proses pengukuran kanal khususnya untuk metode MRC. Parameter yang diambil sebagai acuan performansi adalah *bit error rate* (BER).
  3. Simulasi sistem komunikasi  
Proses simulasi sistem komunikasi dilakukan dengan menguji kinerja dari M-QAM. Proses simulasi menggunakan MATLAB. Proses simulasi ini untuk menentukan algoritma yang digunakan pada saat pengukuran. Simulasi juga bertujuan untuk memastikan algoritma yang digunakan sesuai dengan teori sistem komunikasi.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Transmisi

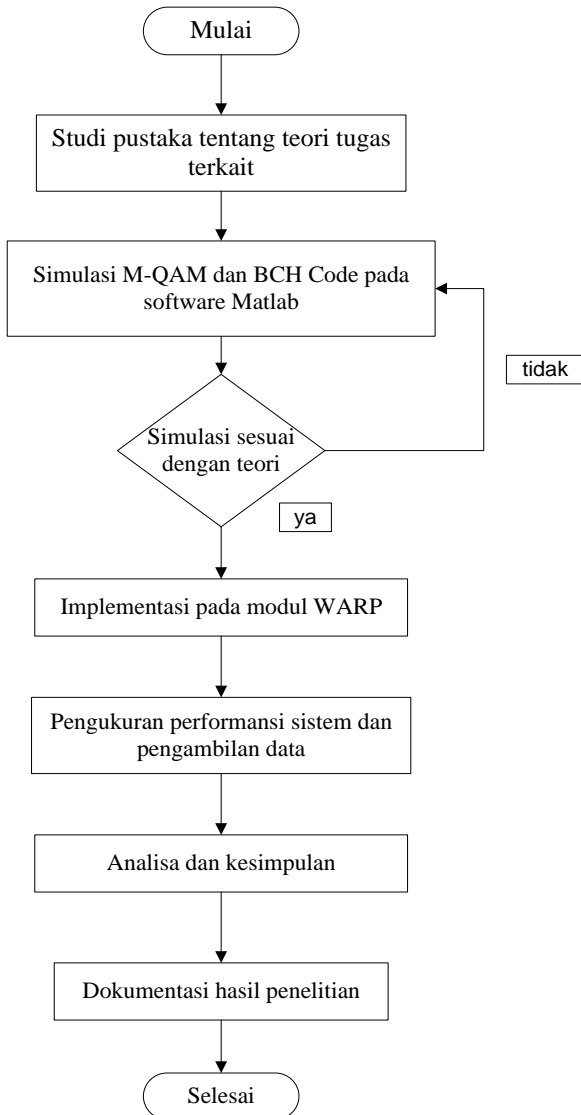
4. Implementasi pada modul WARP  
Simulasi akan diterapkan pada modul WARP namun dengan kondisi lingkungan indoor yang real. Proses implementasi dilakukan dengan menggunakan software WARPLab





Gambar 2. Blok Diagram Implementasi pada WARP

5. Pengukuran pada lingkungan indoor  
Setelah modul WARP bisa digunakan untuk simulasi dengan kondisi kanal real, maka proses pengukuran dapat dilakukan. Pada tahapan ini, dilakukan pengumpulan data untuk berbagai kondisi parameter yang ditentukan, misalnya, berbagai macam modulasi digital, daya pancar yang berbeda untuk jarak tertentu. Tujuan akhirnya adalah menentukan seberapa baik unjuk kerjanya yang ditunjukkan oleh BER.
6. Proses analisa data dan pengambilan kesimpulan  
Analisa data dan pengambilan kesimpulan mengacu pada data hasil pengukuran.
7. Dokumentasi penelitian  
Tahapan akhir ini meliputi pembuatan laporan tugas akhir dan penulisan jurnal ilmiah. Pembuatan laporan tugas akhir untuk beberapa bagian dilakukan bersesuaian dengan pengerjaan tahapan-tahapan diatas. Sedangkan jurnal ilmiah dilakukan setelah laporan tugas akhir selesai. Metodologi yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini dijabarkan dengan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

## **1.6. Sistematika Penelitian**

Proses penelitian yang tersusun dalam laporan tugas akhir dapat dijabarkan sebagai berikut:

- BAB 1, Bagian ini akan membahas tentang latar belakang, tujuan dan permasalahan-permasalahan yang dihadapi dan hasil akhir yang diinginkan dalam pengerjaan tugas.
- BAB 2, Bagian ini melakukan mengenai tema-tema terkait yang membantu dalam proses perumusan masalah sistem. Tema-tema tersebut juga digunakan sebagai acuan awal dalam penyelesaian permasalahan.
- BAB 3, Bagian ini membahas tentang proses desain sistem, kendala-kendala serta penyelesaiannya dalam bentuk implementasi pada alat.
- BAB 4, Bagian ini akan membahas mengenai sistematika pengukuran dan hasilnya. Pada bab tersebut juga dilakukan analisis awal terhadap data-data hasil pengukuran.
- BAB 5, Bagian ini akan membahas kesimpulan dan saran berdasarkan hasil-hasil analisa pada bab 4 sebelumnya.

Manfaat yang diharapkan tercapai pada proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui kendala-kendala dalam proses desain sistem komunikasi dan bagaimana cara menyelesaikannya
- Memahami cara kerja sistem komunikasi SISO
- Memberikan kontribusi tentang proses desain dan implementasi pengkodean BCH dengan modulasi M-QAM pada WARP

## BAB II

### TEORI PENUNJANG

Pada bab ini akan dijabarkan dasar teori yang menjadi acuan dalam pengerjaan penelitian. Pembahasan teori dalam bab 2 meliputi antara lain:

#### 2.1 *Error Correcting Code*

Dalam upaya meningkatkan kapasitas saluran komunikasi dimana kondisi adanya noise, maka digunakan sistem kode koreksi kesalahan (*error correcting code*). Terdapat dua macam metode koreksi *error*[11]:

a. *Backward Error Correcting* (BEC)

Penerima bertugas untuk mendeteksi *error* apabila ditemukan kesalahan, maka pemancar diminta untuk mengulangi pengiriman data bit tersebut. Untuk itu diperlukan komunikasi dua arah (duplex) antara pengirim dan penerima.

b. *Forward Error Correcting* (FEC)

Penerima sepenuhnya bertugas untuk mendeteksi dan mengoreksi *error*. Pada pemancar diperlukan suatu encoder, sedangkan pada penerima dipasang suatu decoder yang dapat melakukan proses deteksi dan koreksi sekaligus.

Secara umum jenis kode yang digunakan FEC untuk koreksi error berbentuk *block code* dan non *block code*. Pada *block code*, data dikelompokkan dalam suatu blok dengan panjang tertentu, deteksi dan koreksi kesalahan dilakukan perblok. Dalam perkembangannya kode blok menjadi beberapa tipe diantaranya adalah kode cyclic, BCH (Bose, Chaudri, and Hocquenghem).

Kode blok menerima informasi dalam blok  $k$ -bit yang berurutan. Setiap blok, menambah  $n-k$  redundant bit yang berkaitan dengan aljabar bit pesan  $k$ . oleh karena itu, ini membuat secara keseluruhan blok encoded dari bit  $n$ , dengan  $n > k$ . blok bit  $n$  disebut juga sebagai *code word* atau panjang blok dari kode.

Kode koreksi kesalahan secara khusus sangat bermanfaat ketika saluran memiliki level *noise* yang tinggi. Seperti *noise* yang disebabkan oleh transmisi yang tidak dapat diandalkan sama sekali. Kita

mengatakan bahwa bit transmisi dalam keadaan *error* jika pemancar mengirimkan 0 sementara disisi penerimanya menerima 1. Sekarang, jika peluan dari kesalahan bit adalah besar, transmisi dari informasi tidaklah mudah tanpa adanya pengkodean kanal.

## 2.2 Konsep Penyandian Siklis

Penyandian siklis merupakan salah satu jenis penyandian blok linier. Penyandian ini menggunakan struktur matematika aljabar linier dengan bentuk polynomial pada pembentukan kata sandi dan penguraian kata sandi, sedangkan penyandian lainnya menggunakan matriks dalam pembentukan kata sandi dan penguraiannya sehingga penyandian model siklis lebih mudah untuk melakukan penyandian dan penguraian dibandingkan jenis penyandian blok lainnya. Namun demikian, pembentukan kata sandi pada penyandian siklis juga dapat dilakukan dengan operasi matriks yang merupakan operasi dasar dari pembentukan kata sandi pada penyandian blok [1].

Sifat linier pada penyandian siklis menegaskan bahwa penyandian siklis adalah penyandian blok linier. Misalkan  $c = (c_0, c_1, c_2, \dots, c_{n-1})$  adalah suatu kata sandi dari penyandian blok linier  $(n,k)$  jika dilakukan pergeseran siklis maka kata sandi dengan  $n$  digit berbentuk  $(c_{n-1}, c_0, c_0, \dots, c_{n-2}), (c_{n-2}, c_0, c_0, \dots, c_{n-1}), (c_1, c_2, \dots, c_{n-1})$ . Contoh tersebut menunjukkan sifat siklis yang dimiliki penyandian siklis. Sifat siklis ini juga menandakan bahwa unsur pembentuk  $(c_0, c_1, c_2, \dots, c_{n-1})$  dapat dinyatakan dalam bentuk polynomial kata sandi berikut [2]:

$$c(x) = (c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}) \quad (2.1)$$

dan bila digeser, siklis dapat ditulis :

$$c^{(i)}(x) = c_{n-1} + c_{n-i+1}x + \dots + c_{n-1}x^{i-1} + c_0x^i + c_1x^{i+1} + \dots + c_{n-i-1}x^{n-1} \quad (2.2)$$

dimana:

$i$  = jumlah pergeseran

$n$  = jumlah bit dalam satu blok

$c$  = dapat bernilai 0 atau 1

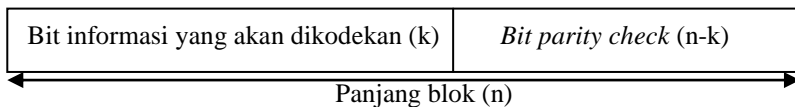
### 2.3 Bose, Chaudhury, Hocquenghem (BCH)

Pada tahun 1959, Hocquenghem merepresentasikan suatu metode penyandian siklis yang memiliki tingkat perbaikan kesalahan yang tinggi dengan pembentukan kata sandi lebih spesifik. Kemudian pada tahun 1960, metode tersebut disempurnakan oleh Bose dan CHaudhury sehingga teknik penyandian ini disebut dengan Bose, Chaudhury, Hocquenghem atau BCH. Pengkodean ini merupakan metode *error corerection* yang dibangun dalam bidang *finite field* (terbatas). Kode ini merupakan generalisasi dari pengkodean Hamming untuk *multiple error correction* [1].

Kode BCH ini melibatkan *cyclic code* dimana beberapa simbol tersusun dari  $m$ -bit yang berurutan dengan  $m$  adalah integer positif yang nilainya lebih besar dari 2. Pada *binary BCH code* terdapat beberapa parameter sebagai berikut[2]:

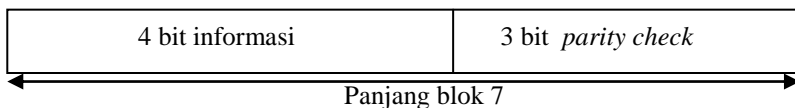
Panjang blok	: $n = 2^m - 1$
Jumlah digit parity-check	: $n - k \leq mt$
Jarak minimal	: $d_{\min} \geq 2t + 1$

Kode ini mampu mengkoreksi berbagai kombinasi dari  $t$  atau lebih kecil dalam blok  $n$  digit yang biasa disebut dengan *t-error-correcting*. Sebuah kode BCH dapat digambarkan dengan format berikut:



Gambar 2. 1 Elemen kode BCH

Sebuah kode BCH seperti Gambar 2.1 di atas dapat dituliskan dalam bentuk BCH ( $n,k$ ). Contohnya BCH (15,7), berarti setiap 7 bit informasi akan dikelompokkan (di-frame-kan) dan dikodekan secara BCH dengan panjang kode 15. Hal ini berarti terdapat 8 bit *parity* yang ditambahkan, seperti Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2. 2 BCH (7,4) dalam bentuk blok



Tambahan 3 bit diletakkan di belakang informasi. Fungsinya yaitu untuk melakukan deteksi dan koreksi pada bagian penerima. Jika terdapat kesalahan pada 4 bit informasi, maka bit *parity check* akan dapat mengembalikan data yang rusak ke nilai awal sebelum terjadi kesalahan. Jumlah kesalahan yang dapat dikoreksi pada BCH (7,4) adalah  $t = 1$  ( $n - k \leq mt$ ), untuk BCH (15,7) adalah  $t = 2$ , BCH (31,16) adalah  $t = 3$ .

### 2.3.1 Polinomial Generator

Untuk penyandian  $GF(2^3)$  dibangkitkan oleh primitif  $p(X) = 1 + X + X^3$ , dimana  $p(X)$  adalah polinomial primitive untuk  $GF(2^3)$  yang tidak dapat difaktorkan lagi.

Tabel 2. 1 Polinomial Primitif pada  $GF(2^m)[1]$

m	p(X)	m	p(X)
2	$X^2 + X + 1$	15	$X^{15} + X + 1$
3	$X^3 + X + 1$	16	$X^{16} + X^{12} + X^3 + X + 1$
4	$X^4 + X + 1$	17	$X^{17} + X^3 + 1$
5	$X^5 + X^2 + 1$	18	$X^{18} + X^7 + 1$
6	$X^6 + X + 1$	19	$X^{19} + X^5 + X^2 + X + 1$
7	$X^7 + X^2 + 1$	20	$X^{20} + X^3 + 1$
8	$X^8 + X^4 + X^3 + X^2 + 1$	21	$X^{21} + X^2 + 1$
9	$X^9 + X^4 + 1$	22	$X^{22} + X + 1$
10	$X^{10} + X^3 + 1$	23	$X^{23} + X^5 + 1$
11	$X^{11} + X^2 + 1$	24	$X^{24} + X^7 + X^2 + X + 1$
12	$X^{12} + X^6 + X^4 + X + 1$	25	$X^{25} + X^3 + 1$
13	$X^{13} + X^4 + X^3 + X + 1$	26	$X^{26} + X^6 + X^2 + X + 1$
14	$X^{14} + X^{10} + X^6 + X + 1$	27	$X^{27} + X^5 + X^2 + X + 1$

Polinomial generator untuk tingkat kemampuan perbaikan  $t$  pada BCH adalah polinomial berderajat rendah dari  $GF(2)$  yang memiliki  $(\alpha, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^4)$  untuk  $g(\alpha^i) = 0$  setiap akar – akarnya, dimana nilai untuk  $1 \leq i \leq 2t$ . Polinomial  $g(x)$  dibentuk berdasarkan polinomial minimal  $m(x)$ . Polinomial minimal  $m(x)$  ditentukan ditentukan untuk setiap  $g(x)$  yang memiliki koefisien dan akar-akarnya saling berkonjugasi. Maka polinomial generator dengan tingkat kemampuan perbaikan  $t$  dibentuk dari gabungan perkalian

terkecil LCM (*Least Common Multiple*) dari  $\Phi_1(X)$ ,  $\Phi_2(X)$ , ...,  $\Phi_{2t}(X)$  dan dinyatakan dengan [2]:

$$g(X) = \text{LCM}\{ \Phi_1(X), \Phi_2(X), \dots, \Phi_{2t}(X) \} \quad (2.3)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai konjugasi dari minimal polinomial dapat dilakukan seperti berikut[10]:

misalnya untuk  $\text{GF}(2^3)$  memiliki nilai konjugasi:

$$\alpha, \alpha^2, \alpha^{2^2} = \alpha^4, \alpha^{2^3} = \alpha$$

sehingga konjugasi dari  $\alpha$  adalah  $\{ \alpha, \alpha^2, \alpha^4 \}$ . Misalnya  $\beta = \alpha^3$  yang merupakan bukan elemen dari konjugasi  $\alpha$ . Sehingga konjugasi dari  $\beta$  adalah:

$$\beta = \alpha^3, (\alpha^3)^2 = \alpha^6, (\alpha^3)^{2^2} = \alpha^{12} = \alpha^7 \alpha^5 = \alpha^5, (\alpha^3)^{2^3} = \alpha^{24} = \alpha^{21} \alpha^3 = \alpha^3$$

sehingga konjugasi dari  $\beta$  adalah  $\{ \alpha^3, \alpha^6, \alpha^5 \}$ . Dari hasil tersebut, maka dapat kita hitung nilai minimal polinomialnya dengan menggabungkan masing – masing nilai dari konjugasi yang terlihat seperti tabel

Tabel 2. 2 Konjugasi dari  $\text{GF}(2^3)$

Konjugasi	Polinomial Minimal
$\{0\}$	$M_{-}(x) = x$
$\{1\}$	$M_0(x) = x + 1$
$\{ \alpha, \alpha^2, \alpha^4 \}$	$M_1(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2)(x - \alpha^4) = x^3 + x + 1$
$\{ \alpha^3, \alpha^6, \alpha^5 \}$	$M_3(x) = (x - \alpha^3)(x - \alpha^5)(x - \alpha^6) = x^3 + x^2 + 1$

Tabel 2. 3 Konjugasi dari  $\text{GF}(2^4)$

Konjugasi	Polinomial Minimal
$\{0\}$	$M_{-}(x) = x$
$\{1\}$	$M_0(x) = x + 1$
$\{ \alpha, \alpha^2, \alpha^4, \alpha^8 \}$	$M_1(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2)(x - \alpha^4) (x - \alpha^8) = x^4 + x + 1$
$\{ \alpha^3, \alpha^6, \alpha^9, \alpha^{12} \}$	$M_3(x) = (x - \alpha^3)(x - \alpha^6) (x - \alpha^9) (x - \alpha^{12}) = x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$
$\{ \alpha^5, \alpha^{10} \}$	$M_5(x) = (x - \alpha^5)(x - \alpha^6) (x - \alpha^9) (x - \alpha^{12}) = x^2 + x + 1$
$\{ \alpha^7, \alpha^{11}, \alpha^{13}, \alpha^{14} \}$	$M_7(x) = (x - \alpha^7)(x - \alpha^{11}) (x - \alpha^{13}) (x - \alpha^{14}) = x^4 + x^3 + 1$

Tabel 2. 4 Konjugasi dari  $GF(2^5)$ 

Konjugasi	Polinomial Minimal
$\{0\}$	$M_{-}(x) = x$
$\{1\}$	$M_0(x) = x + 1$
$\{\alpha, \alpha^2, \alpha^4, \alpha^8, \alpha^{16}\}$	$M_1(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2)(x - \alpha^4)(x - \alpha^8)$ $(x - \alpha^{16})$ $= x^5 + x^2 + 1$
$\{\alpha^3, \alpha^6, \alpha^{12}, \alpha^{17}, \alpha^{24}\}$	$M_3(x) = (x - \alpha^3)(x - \alpha^6)(x - \alpha^{12})$ $(x - \alpha^{17})(x - \alpha^{24})$ $= x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$
$\{\alpha^5, \alpha^9, \alpha^{10}, \alpha^{18}, \alpha^{20}\}$	$M_5(x) = (x - \alpha^5)(x - \alpha^9)(x - \alpha^{10})$ $(x - \alpha^{18})(x - \alpha^{20})$ $= x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$
$\{\alpha^7, \alpha^{14}, \alpha^{19}, \alpha^{25}, \alpha^{28}\}$	$M_7(x) = (x - \alpha^7)(x - \alpha^{14})(x - \alpha^{19})$ $(x - \alpha^{25})(x - \alpha^{28})$ $= x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$
$\{\alpha^{11}, \alpha^{13}, \alpha^{21}, \alpha^{22}, \alpha^{26}\}$	$M_{11}(x) = (x - \alpha^{11})(x - \alpha^{13})(x - \alpha^{21})$ $(x - \alpha^{22})(x - \alpha^{26})$ $= x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$
$\{\alpha^{15}, \alpha^{23}, \alpha^{27}, \alpha^{29}, \alpha^{30}\}$	$M_{15}(x) = (x - \alpha^{15})(x - \alpha^{23})(x - \alpha^{27})$ $(x - \alpha^{29})(x - \alpha^{30})$ $= x^5 + x^3 + 1$

### 2.3.2 Galois Field

Setiap proses deteksi dan koreksi *error* pada kode BCH menggunakan *galois field*, yaitu suatu area dari dua elemen biner yang beroperasi penjumlahan dan perkaliannya didefinisikan pada modulo-2. Sebuah *galois field* terdiri dari satu set elemen. Elemen ini berbasiskan elemen primitif dimana dinotasikan dalam  $\alpha$  dan bernilai  $0, \alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^{n-1}$  untuk membentuk sebuah set dari elemen  $2^m$ , dimana  $n = 2^m - 1$ . Field ini dikenal dengan nama  $GF(2^m)[1]$ . Elemen primitif sangat berguna dalam mengkonstruksikan field, karena dapat diperoleh elemen field dengan melakukan operasi perkalian terhadap pangkat dari elemen primitif  $\alpha$ .

Misalnya terdapat  $m = 4$  dengan polynomial  $p(X) = 1 + X + X^4$  adalah polinomial primitif dari  $GF(2^m)$ . Maka kita dapat menghitung ekemen dari  $GF(2^4)$  sebagai berikut :

$$\alpha^4 = 1 + \alpha$$

$$\alpha^5 = \alpha \cdot \alpha^4 = \alpha(1 + \alpha) = \alpha + \alpha^2$$

$$\alpha^6 = \alpha \cdot \alpha^5 = \alpha(\alpha + \alpha^2) = \alpha^2 + \alpha^3$$

$$\alpha^7 = \alpha \cdot \alpha^6 = \alpha(\alpha^2 + \alpha^3) = \alpha^3 + \alpha^4 = \alpha^3 + 1 + \alpha = 1 + \alpha + \alpha^3$$

dari perhitungan tersebut akan didapatkan tabel representasi  $\alpha$  dari elemen  $GF(2^4)$ , dimana nilai  $\alpha$  mewakili posisi biner dari kombinasi biner  $2^4$ .

Tabel 2.5 Representasi  $\alpha$  dari elemen  $GF(2^4)$  dibangkitkan oleh  
 $p(X) = 1 + X + X^4$

Representasi Eksponen	Representasi Polinomial	Representasi Vektor			
0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0
$\alpha$	$\alpha$	0	1	0	0
$\alpha^2$	$\alpha^2$	0	0	1	0
$\alpha^3$	$\alpha^3$	0	0	0	1
$\alpha^4$	$1 + \alpha$	1	1	0	0
$\alpha^5$	$\alpha + \alpha^2$	0	1	1	0
$\alpha^6$	$\alpha^2 + \alpha^3$	0	0	1	1
$\alpha^7$	$1 + \alpha + \alpha^3$	1	1	0	1
$\alpha^8$	$1 + \alpha^2$	1	0	1	0
$\alpha^9$	$\alpha + \alpha^3$	0	1	0	1
$\alpha^{10}$	$1 + \alpha + \alpha^2$	1	1	1	0
$\alpha^{11}$	$\alpha + \alpha^2 + \alpha^3$	0	1	1	1
$\alpha^{12}$	$1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^3$	1	1	1	1
$\alpha^{13}$	$1 + \alpha^2 + \alpha^3$	1	0	1	1
$\alpha^{14}$	$1 + \alpha^3$	1	0	0	1

Tabel 2. 6 Representasi  $\alpha$  dari elemen  $GF(2^5)$  dibangkitkan oleh  
 $p(X) = 1 + X^2 + X^5$

Representasi Eksponen	Representasi Polinomial	Representasi Vektor				
0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0
$\alpha$	$\alpha$	0	1	0	0	0
$\alpha^2$	$\alpha^2$	0	0	1	0	0
$\alpha^3$	$\alpha^3$	0	0	0	1	0
$\alpha^4$	$1 + \alpha$	0	0	0	0	1
$\alpha^5$	$\alpha^2 + 1$	1	0	1	0	0
$\alpha^6$	$\alpha^3 + \alpha$	0	1	0	1	0
$\alpha^7$	$\alpha^4 + \alpha^2$	0	0	1	0	1
$\alpha^8$	$\alpha^5 + \alpha^3$	1	0	1	1	0
$\alpha^9$	$\alpha^6 + \alpha^4$	0	1	0	1	1
$\alpha^{10}$	$\alpha^7 + \alpha^5$	1	0	0	0	1
$\alpha^{11}$	$\alpha^8 + \alpha^6$	1	1	1	0	0
$\alpha^{12}$	$\alpha^9 + \alpha^7$	0	1	1	1	0
$\alpha^{13}$	$\alpha^{10} + \alpha^8$	0	0	1	1	1
$\alpha^{14}$	$\alpha^{11} + \alpha^9$	1	0	1	1	1
$\alpha^{15}$	$\alpha^{12} + \alpha^{10}$	1	1	1	1	1
$\alpha^{16}$	$\alpha^{13} + \alpha^{11}$	1	1	0	1	1
$\alpha^{17}$	$\alpha^{14} + \alpha^{12}$	1	1	0	0	1
$\alpha^{18}$	$\alpha^{15} + \alpha^{13}$	1	1	0	0	0
$\alpha^{19}$	$\alpha^{16} + \alpha^{14}$	0	1	1	0	0
$\alpha^{20}$	$\alpha^{17} + \alpha^{15}$	0	0	1	1	0
$\alpha^{21}$	$\alpha^{18} + \alpha^{16}$	0	0	0	1	1
$\alpha^{22}$	$\alpha^{19} + \alpha^{17}$	1	0	1	0	1
$\alpha^{23}$	$\alpha^{20} + \alpha^{18}$	1	1	1	1	0
$\alpha^{24}$	$\alpha^{21} + \alpha^{19}$	0	1	1	1	1
$\alpha^{25}$	$\alpha^{22} + \alpha^{20}$	1	0	0	1	1

Representasi Eksponen	Representasi Polinomial	Representasi Vektor				
$\alpha^{26}$	$\alpha^{23} + \alpha^{21}$	1	1	1	0	1
$\alpha^{27}$	$\alpha^{24} + \alpha^{22}$	1	1	0	1	0
$\alpha^{28}$	$\alpha^{25} + \alpha^{23}$	0	1	1	0	1
$\alpha^{29}$	$\alpha^{26} + \alpha^{24}$	1	0	0	1	0
$\alpha^{30}$	$\alpha^{27} + \alpha^{25}$	0	1	0	0	1

### 2.3.3 Encoding pada Kode BCH

Untuk generator polynomial  $g(X)$  dari kode BCH  $t$ -error-correcting biner dengan panjang  $2^m - 1$ , persamaan (2.3) dapat disederhanakan menjadi:

$$g(X) = \text{LCM}\{ \Phi_1(X), \Phi_3(X), \dots, \Phi_{2^t-1}(X) \} \quad (2.4)$$

Karena pangkat dari masing – masing polinomial minimum adalah lebih kecil sama dengan  $m$ , maka pangkat dari  $g(X)$  merupakan nilai perkalian  $m$  dan  $t$ . Oleh karena itu, jumlah digit *parity-check*  $(n-k)$  kode adalah sama dengan nilai perkalian  $m$  dan  $t$ .

Parameter untuk semua kode BCH biner dengan panjang  $2^m - 1$  dengan  $mt \leq 10$  dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut[1]:

n	k	t	n	k	t	n	k	t
7	4	1	63	16	11	127	22	23
15	11	1		10	13		15	27
	7	2		7	15		8	31
	5	3	127	120	1	255	247	1
31	26	1		113	2		239	2
	21	2		106	3		231	3
	16	3		99	4		223	4
	11	4		92	5		215	5
63	57	1		85	6		207	6
	51	2		78	7		199	7
	45	3		64	10		191	8
	39	4		57	11		187	9
	36	5		50	13		179	10
	30	6		43	14		171	11
	24	7		36	15		163	12

n	k	t	n	k	t	n	k	t
18	10		29	21		155	13	

Contoh 1:

Dimisalkan  $\alpha$  adalah elemen primitive dari  $GF(2^4)$  dimana  $1 + \alpha + \alpha^4 = 0$ . Polinomial minimal dari  $\alpha, \alpha^3, \alpha^5$  adalah

$$\begin{aligned}\Phi_1(X) &= 1 + x + x^4 \\ \Phi_3(X) &= 1 + x + x^2 + x^3 + x^4 \\ \Phi_5(X) &= 1 + x + x^2\end{aligned}\quad (2.5)$$

Kode BCH *double-error-correcting* ( $t=2$ ) dengan panjang  $n = 2^4 - 1 = 15$  dibangkitkan oleh:

$$\begin{aligned}g(X) &= \text{LCM}\{ \Phi_1(X), \Phi_3(X) \} \\ &= (1 + x + x^4)(1 + x + x^2 + x^3 + x^4) \\ &= 1 + x^4 + x^6 + x^7 + x^8\end{aligned}\quad (2.6)$$

Karena polinomial generator dari contoh di atas adalah sejumlah 5, maka jarak minimum ( $d_{\min}$ ) dari kode BCH (15,7) adalah 5.

Contoh 2:

Kode BCH *triple-error-correcting* dengan panjang  $n = 31$  dibangkitkan oleh:

$$\begin{aligned}g(X) &= \text{LCM}\{ \Phi_1(X), \Phi_3(X), \Phi_5(X) \} \\ &= (1 + x + x^4)(1 + x + x^2 + x^3 + x^4)(1 + x + x^2) \\ &= 1 + x + x^2 + x^4 + x^5 + x^8 + x^{10}\end{aligned}\quad (2.7)$$

Contoh 3:

Matriks H (*parity-check*) dari kode BCH seperti berikut:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \dots & \alpha^{n-1} \\ 1 & \alpha^3 & (\alpha^3)^2 & (\alpha^3)^3 & \dots & (\alpha^3)^{n-1} \\ 1 & \alpha^5 & (\alpha^5)^2 & (\alpha^5)^3 & \dots & (\alpha^5)^{n-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & \alpha^{2t-1} & (\alpha^{2t-1})^2 & (\alpha^{2t-1})^3 & \dots & (\alpha^{2t-1})^{n-1} \end{bmatrix}$$

Seluruh masukan matriks H adalah elemen dalam  $GF(2^m)$ . Setiap elemen pada  $GF(2^m)$  dapat diwakilkan oleh nilai pada tabel  $GF(2^m)$ .

Contoh 4:

Perhatikan kode BCH *double-error-correcting* (15,7). Misal  $\alpha$  adalah elemen primitif pada  $GF(2^4)$ . Maka matriks *parity-check* dari kode ini adalah[1]:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \alpha^4 & \alpha^5 & \alpha^6 & \alpha^7 & \alpha^8 & \alpha^9 & \alpha^{10} & \alpha^{11} & \alpha^{12} & \alpha^{13} & \alpha^{14} \\ 1 & \alpha^3 & \alpha^6 & \alpha^9 & \alpha^{12} & \alpha^{15} & \alpha^{18} & \alpha^{21} & \alpha^{24} & \alpha^{27} & \alpha^{30} & \alpha^{33} & \alpha^{36} & \alpha^{39} & \alpha^{42} \end{bmatrix}$$

Dengan memperhatikan Tabel 2.5, nilai dari elemen primitif diwakili nilai bit pada tabel tersebut. Sehingga kita mendapatkan nilai *parity-check* biner dari kode seperti berikut:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

### 2.3.4 Perhitungan Sindrom

Jika kata sandi yang diterima merupakan kata sandi yang ditambah dengan polinomial kesalahan  $e(x)$ , maka sindrom akan dihitung dari polinomial kata sandi yang diterima  $r(x)$ . Pada BCH dengan tingkat kemampuan perbaikan  $t$ , banyaknya sindrom  $q$  ditentukan lewat persamaan berikut[1]:

$$q = 2t \quad (2.8)$$

Masing – masing terdiri dari 2 bit. Untuk BCH (31,16) dengan  $t = 7$ , jumlah sindrom  $q = 14$  atau  $(S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14})$ . Sehingga perhitungan sindrom dapat dilakukan sebagai berikut[peterson]:

$$S_i = r(\alpha^i) = r_0 + r_1\alpha^i + r_2\alpha^{2i} + \dots + r_{n-1}\alpha^{(n-1)i} \quad (2.9)$$

Karena polinomial  $r(x)$  dibentuk oleh polinomial minimal  $\Phi_i(X)$  dari  $\alpha^i$ , maka:

$$r(X) = \alpha_i(X) \Phi_i(X) + b_i(X) \quad (2.10)$$

koefisien  $b_i(X)$  menyatakan sisa dengan derajat yang tidak kurang dari  $\Phi_i(X)$  dan karena  $\Phi_i(X) = 0$ , maka diperoleh[1]:

$$S_i = r(\alpha^i) = b_i(\alpha^i) \quad (2.11)$$

Dari sindrom yang diperoleh, pengurai akan mencari polinomial pola kesalahan  $e(X)$  untuk menentukan letak kesalahan yang



terdapat pada suatu kata sandi  $r(X)$  dengan jangkauan  $X^0$  sampai  $X^{n-1}$ . Karena  $\alpha, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{2^t}$  dengan nilai – nilai  $\alpha^{j_1}, \alpha^{j_2}, \dots, \alpha^{j_v}$  sebagai koefisien – koefisien yang menyatakan posisi biner yang tidak diketahui.

Pada BCH (15,7) dengan kemampuan perbaikan  $t = 2$ , sindrom yang akan dihitung adalah  $S_1$  sampai  $S_4$  dapat dituliskan seperti berikut[1]:

$$\begin{aligned} S_1 &= r(\alpha) = e_{j_1}\beta_1 + e_{j_2}\beta_2 + \dots + e_{j_v}\beta_v \\ S_2 &= r(\alpha^2) = e_{j_1}\beta_1^2 + e_{j_2}\beta_2^2 + \dots + e_{j_v}\beta_v^2 \\ &\vdots \\ S_{2^t} &= r(\alpha^{2^t}) = e_{j_1}\beta_1^{2^t} + e_{j_2}\beta_2^{2^t} + \dots + e_{j_v}\beta_v^{2^t} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Dimana  $v$  adalah lokasi kesalahan.

Penentuan polinomial pola kesalahan  $e(X)$

Teknik penentuan lokasi kesalahan pada BCH dengan kondisi berikut[4]:

1. Untuk 1 kesalahan

$$\tau = S_1$$

2. Untuk 2 kesalahan

$$\tau_1 = S_1$$

$$\tau_2 = \frac{S_3 + S_1^3}{S_1}$$

3. Untuk 3 kesalahan

$$\tau_1 = S_1$$

$$\tau_2 = \frac{S_1^2 S_3 + S_5}{S_3 + S_1^3}$$

$$\tau_2 = S_3 + S_1^3 + S_1 \tau_1$$

## 2.4 Modulasi Digital

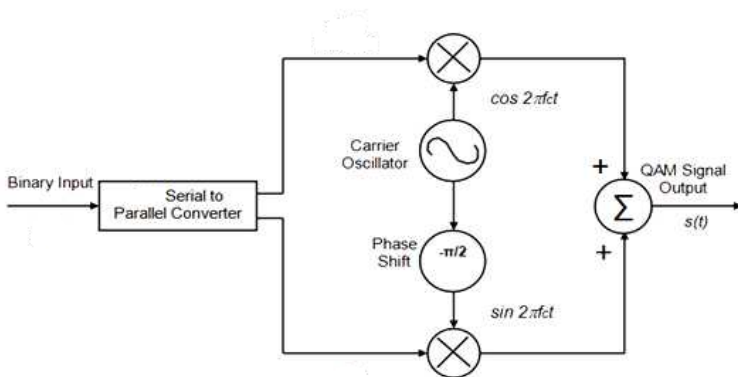
Modulasi adalah proses pengkodean informasi dari sumber pesan dengan cara transmisi yang cocok. Hal ini biasanya melibatkan menerjemahkan sinyal pesan *baseband* (disebut sumber) ke sinyal *baseband* pada frekuensi yang sangat tinggi bila dibandingkan dengan frekuensi *baseband*. Sinyal *baseband* disebut sinyal termodulasi dan sinyal pesan *baseband* yang disebut sinyal modulasi. Modulasi dapat dilakukan dengan memberikan ariasi amplitudo, fase, atau frekuensi

pembawa, frekuensi tinggi sesuai dengan amplitudo sinyal pesan. Demodulasi adalah proses pengambilan pesan *baseband* dari operator sehingga dapat diproses dan ditafsirkan oleh penerima yang dituju (juga disebut sink). Pemilihan jenis modulasi yang digunakan ditentukan oleh penerapan yang diinginkan, termasuk juga karakteristik kanal yang digunakan seperti *bandwidth* yang tersedia dan kerentanan (*susceptibility*) kanal terhadap perubahan (*fading*).

Untuk mengirim pesan digital, sistem modulasi digital mengalokasikan waktu interval sinyal dan menghasilkan fungsi kontinu yang mewakili simbol. Dalam modulasi digital, pesan sinyal diubah menjadi sinyal *baseband*. Pada sistem komunikasi nirkabel, bagian kedua dari modulasi adalah mengubah sinyal *baseband* ke frekuensi radio (RF) sinyal, dan memodulasi *phase*, frekuensi atau amplitudo dari sinyal pembawa (*carrier*). Sedangkan pada sistem kabel, *sinyal baseband* dapat dikirimkan secara langsung tanpa modulasi sinyal pembawa (misalnya dalam jaringan LAN).[3].

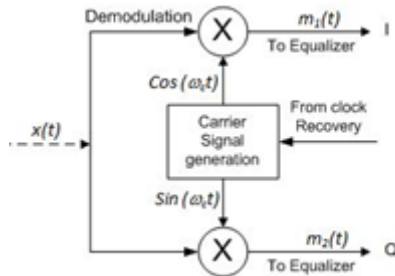
#### 2.4.1. *M-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM)*

*M-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM)* merupakan salah satu teknik modulasi digital multi level yang saat ini banyak digunakan pada sistem komunikasi. Hal ini disebabkan karena konstelasi sinyal M-QAM yang tidak begitu rapat, bila dibandingkan dengan sistem modulasi lainnya, misalnya dengan sistem *M-ary Quadrature Phase Shift Keying (M-QPSK)*. [3]. Blok diagram yang menjelaskan proses modulasi M-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.1 sebagai berikut.



**Gambar 2.3** Proses Modulasi M-QAM

Sedangkan blok diagram yang menjelaskan proses demodulasi M-QAM ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut.



**Gambar 2.4** Proses Demodulasi M-QAM

### 2.2.2 Penentuan Amplitudo Sinyal

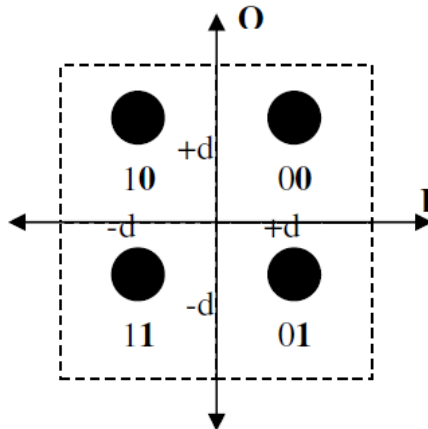
Pada proses modulasi M-QAM, aliran bit-bit pertama kali dipetakan dengan *Gray Mapping* (*Gray Coding*) ke dalam koordinat konstelasi sinyal biner *In-phase* (I) dan *Quadrature* (Q) seperti Gambar 2.1, sedangkan sebaliknya pada proses demodulasi M-QAM, aliran sinyal-sinyal analog akhirnya dikembalikan menjadi sinyal-sinyal biner dengan menggunakan *Gray Mapping*. M adalah jumlah multilevel modulasi atau jumlah maksimum data pada M-QAM dalam bentuk bit. Untuk sistem modulasi 4-QAM dapat dikirimkan 4 data dalam biner, sedangkan untuk 64 QAM dapat dikirimkan 64 data dalam biner. Jumlah untaian biner yang dapat mempresentasikan data disebut dengan ukuran konstelasi bit, disimbolkan dengan k, dan dapat dinyatakan sebagai:[4]

$$k = \log_2 M \quad (2.5)$$

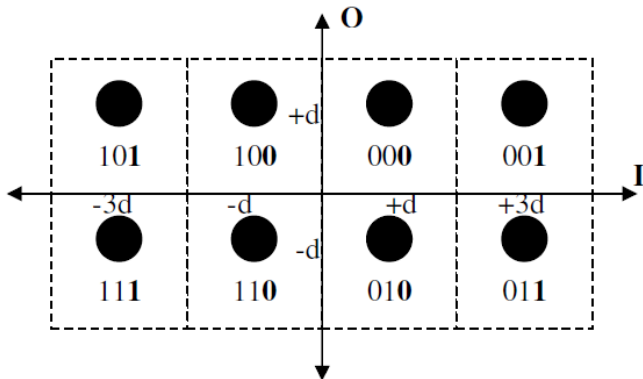
### 2.2.3 Gray Mapping (Gray Coding)

Pemetaan sinyal pada modulasi M-QAM dengan *Gray Mapping* (*Gray Coding*) dapat dilakukan dengan mengkombinasikan sisi tegak *Quadrature* (Q) dan sisi sudut *In-phase* (I) konstelasi sinyal. Angka-angka yang secara umum digunakan untuk menyatakan nilai  $AM_Q$  sebagai sisi tegak Q dan nilai  $AM_I$  sebagai sisi sudut I adalah konstanta d. Untuk modulasi 4-QAM, terdapat pasangan (d, -d) dimana nilai d menyatakan bit 0 dan -d menyatakan bit 1. Untuk 8-QAM pada sisi sudut I ditambahkan nilai (-3d, +3d), dimana pada penambahan titik -3d dan +3d, ditambahkan bit 1, sedangkan pada -d dan +d, ditambahkan bit 0. Untuk 16-QAM pada sisi tegak Q dan sisi sudut I ditambahkan nilai (-

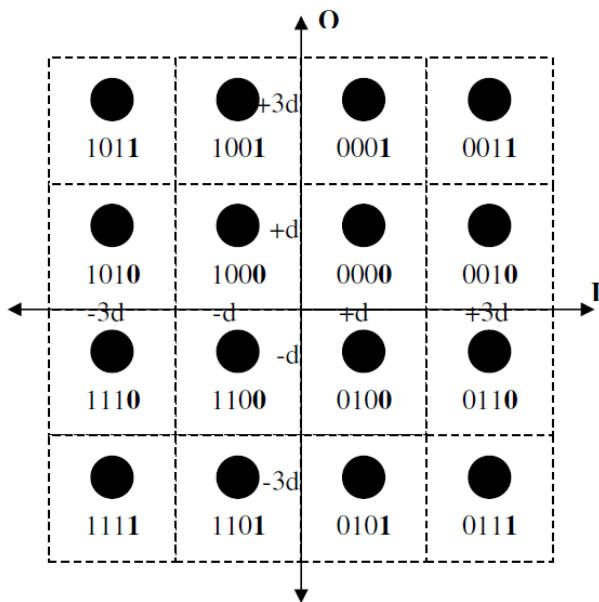
3d, +3d), dimana pada penambahan titik -3d dan +3d di sisi tegak Q ditambahkan bit 1, sedangkan pada -d dan +d ditambahkan bit 0. Untuk 32-QAM, pada sisi sudut I ditambahkan nilai (-5d, +5d) dan (-7d, +7d), sedangkan pada 64-QAM pada sisi sudut I dan sisi tegak Q ditambahkan nilai (-5d, +5d) dan (-7d, +7d), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3, Gambar 2.4, Gambar 2.5, dan Gambar 2.6 sebagai berikut.



**Gambar 2.5** Konstelasi sinyal 4-QAM



**Gambar 2.6** Konstelasi sinyal 8-QAM



**Gambar 2.7** Konstelasi sinyal 16-QAM

## 2.5 Filter Raised Cosine

Root raise cosine adalah filter digital yang berfungsi meminimalkan *inter symbol interference* (ISI) yang Merupakan tipe dari *finite impulse response* (FIR) yang digunakan sebagai *low pass filter*. Fungsi transfer pada root raised cosine adalah sebagai berikut[dsplog]:

$$H_e(f) = \begin{cases} 1 & |f| < f_1 \\ \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left[ \frac{\pi|f| - f_1}{2f_\Delta} \right] \right\} & f_1 < |f| < B \\ 0 & |f| > B \end{cases} \quad (2.2)$$

Dimana:

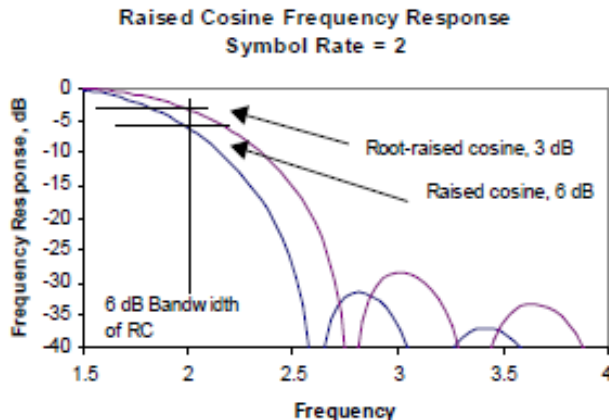
$f_1$  = faktor roll-off

$f$  = frekuensi

$B$  = bandwidth

$f_\Delta = B - f_0$  ;  $f_0 = 6\text{dB}$

Untuk mendapatkan hasil root raised cosine, kita harus membagi filter menjadi dua bagian. Ketika kita membagi filter raised cosine menjadi dua, setiap bagian disebut sebagai root raised cosine. Pada domain frekuensi, kita mengambil akar persegi dari frekuensi responnya sehingga muncullah nama root raised cosine. Respon frekuensi dari root raised cosine ditunjukkan pada gambar 2.7[3]:



**Gambar 2.7.** Respon Frekuensi dari Raised Cosine dan Root Raised Cosine

Gambar di atas menunjukkan spectrum dari Raised Cosine dan Root Raised Cosine. Lebar pita dari raised cosine tepat pada 6dB yang seharusnya jika pada respon frekuensi Nyquist mencapai 3dB dimana hasil tersebut kemudian dilipat gandakan menjadi 6dB. Root raised cosine berada pada titik 3dB karena merupakan akar perseginya.

## 2.6 Teknik Estimasi BER (Bit Error Rate)

Terdapat beberapa cara untuk menentukan estimasi BER dalam simulasi komputer, diantaranya adalah :

1. Metode Monte Carlo
2. Metode Modifikasi Monte Carlo (Importance Sampling)
3. Teori Harga Ekstrem
4. Tail Extrapolation
5. Quasi-Analitical

Masing-masing metode di atas mempunyai kelebihan dan kekurangan diantaranya dibedakan oleh cara penanganan dari fungsi rapat atau distribusi peluangnya.

Metode Monte Carlo merupakan metode simulasi estimasi BER yang relatif sederhana, tetapi memerlukan waktu komputasi yang relatif lama, disebabkan oleh jumlah pengamatan yang diperlukan agar memenuhi keandalan estimasi tertentu.

## 2.7 *Software Defined Radio (SDR)*

*Software Defined Radio* (SDR) atau dapat disebut pula dengan *software-radio* merupakan suatu teknologi untuk membangun sistem radio yang fleksibel, *multi-service*, *multi-standard*, *multi-band*, *re-configurable* dan *re-programmable* dengan menggunakan *software*. Penggunaan SDR bertujuan untuk mengurangi pergantian *hardware* secara terus-menerus sehingga lebih menghemat biaya. Radio digunakan pada peralatan *wireless communication* dimana *software* melakukan implementasi fungsi *physical layer* dan *link layer*. Hal ini sesuai untuk peralatan *single wireless* yang kemudian diprogram ulang menggunakan modulasi yang berbeda, *coding* dan protokol akses. Fungsi utama dari *software* adalah dapat diprogram untuk standar yang ada secara fleksibel. Selain itu juga dapat di-*update* secara dinamis dengan *software* baru tanpa banyak mengubah *hardware* dan infrastruktur yang sudah ada.

Fleksibilitas dari sebuah sistem SDR terlihat dari kapabilitasnya untuk dioperasikan pada lingkungan *multiservice* tanpa terikat pada standar-standar terpisah, akan tetapi masih dapat menawarkan (secara teoritis) pelayanan-pelayanan dari beberapa sistem standar yang telah ada maupun sistem-sistem yang akan datang untuk segala *band* frekuensi.

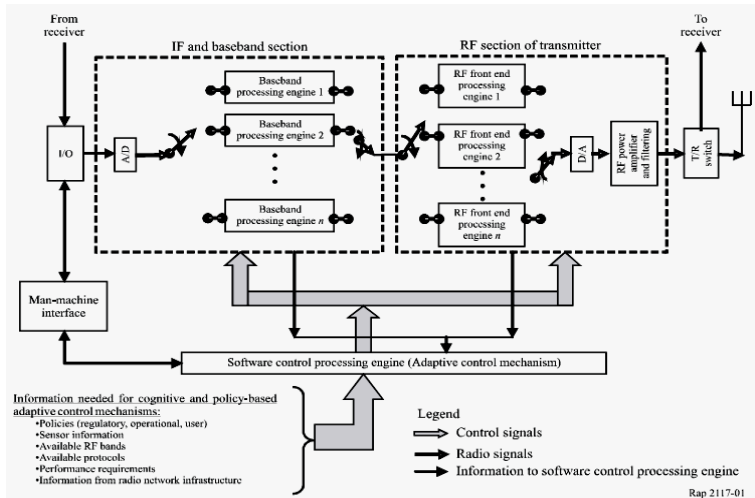
Pada perancangan SDR perlu diperhatikan dua hal yang menjadi acuan pokok yaitu:

1. Implementasi pada fungsi-fungsi *baseband*, seperti *coding*, modulasi, ekualisasi dan *pulse shaping*.
2. Sistem yang dapat diprogram ulang untuk menggaransi operasi – operasi pada *multistandard*.

Selain itu SDR juga dapat membangun suatu modem yang kompleks dengan program, *hardware* yang sudah ada dan juga komponen-komponen radio. Adapun arsitektur penyusun yang dimiliki teknologi SDR dapat dilihat pada Gambar 2.13.

Pada dasarnya arsitektur SDR terdiri atas perangkat keras untuk proses *baseband*, pengolahan sinyal, elemen yang mendukung konversi

RF dan teknologi yang dipakai. Komponen yang digunakan untuk *baseband processing engine* bisa menggunakan *General Purpose Processors* (GPP), *Digital Signal Processor* (DSP), dan *Field Programmable Gate Array* (FPGA). Komponen tersebut didukung oleh *Application Programming Interface* (API) dari sistem perangkat lunak radio. Sistem yang dibangun berdasarkan standar arsitektur SDR dari ITU-R M.2117 memiliki keuntungan yaitu lebih ekonomis dari sisi perangkat keras dan perangkat lunaknya.



**Gambar 2.8** Arsitektur SDR

## 2.8 Wireless Open Access Research Platform (WARP)

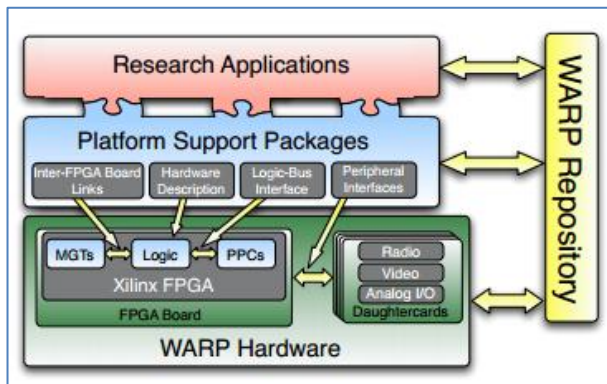
Wireless Open-Access Research Platform (WARP), merupakan sebuah modul FPGA yang telah dipersiapkan untuk melakukan proses implementasi algoritma nirkabel yang canggih. Platform ini memiliki banyak keunggulan, salah satunya adalah WARP dibuat dengan disain perangkat keras khusus, mengintegrasikan sumber daya pengolahan berbasis FPGA dengan antar muka radio nyata. Selain itu platform ini didukung dengan modul khusus yang memudahkan pengguna dari berbagai pengolahan hardware dan sumber daya peripheral. Platform ini juga mendukung modul-modul digunakan untuk membangun berbagai aplikasi penelitian, termasuk implementasi *real time* dari *physical layer* dan *MAC layer*[5].



### 2.8.1 Arsitektur Platform[7]

*Platform* ini didesain untuk memenuhi riset sistem komunikasi nirkabel dengan kinerja yang tinggi. Arsitektur *platform* ini terdiri dari empat komponen. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 2.14.

- a. *Custom Hardware* : Perangkat keras disesuaikan untuk memenuhi sistem komunikasi dengan kinerja yang tinggi. Perangkat keras ini menyediakan sumber daya untuk DSP berkecepatan tinggi yang bisa digunakan untuk implementasi algoritma yang intensif, terukur interkoneksi untuk mengalokasikan lebih banyak daya pemrosesan yang diperlukan, prosesor khusus, dan ekspansi *interface* yang lainnya.
- b. *Platform Support Packages* : Alat desain dan modul antarmuka tingkat rendah dirancang untuk memungkinkan penggunaan *hardware* oleh para peneliti di seluruh lapisan desain jaringan nirkabel.
- c. *Open-Access Repository* : Pusat penyimpanan untuk semua *source code*, model dan *file* desain *hardware*. *Content* secara lengkap akan tersedia di bawah lisensi BSD seperti *open-source*.
- d. *Research Applications* : Implementasi dari algoritma baru, diaktifkan oleh *hardware* khusus dan paket mendukung *platform*. Sistem Kendali menggabungkan algoritma baru dapat dengan cepat dibangun menggunakan bangunan standar modul blok yang disediakan dalam *repository*.



**Gambar 2.9** Komponen-komponen Platform

### 2.8.2 Design Arsitektur WARPLab[7]

Pada Gambar 2.10 menunjukkan jalur pemancar dan penerima dimana blok pemancar ditandai dengan warna merah muda dan blok penerima ditandai dengan warna biru.

Blok pada jalur pemancar :

- a. Tx I/Q Buffer: sampel *In-Phase* yang akan dikirim disimpan dalam Tx I Buffer dan sampel *Quadrature* yang akan dikirim disimpan dalam Tx Q Buffer.
- b. DAC I/Q: *Digital-to-Analog Converter* untuk sampel *In-Phase/Quadrature*.
- c. Tx BB Amplifier: *Transmitter Base Band Amplifier*. Ada dua amplifier, satu untuk sinyal *In-Phase* dan satu untuk sinyal *Quadrature*. Ini adalah *variabel Gain Amplifier* yang keduanya diatur dengan nilai penguatan yang sama, yang dapat dimasukkan oleh *user* dari *workspace* Matlab.
- d. Upconversion: Mengubah sinyal base band ke sinyal RF. Frekuensi *carrier* tergantung pada pengaturan PLL.
- e. Tx RF Amplifier: *Transmitter RF amplifier*, *Variabel Gain Amplifier*, nilai nilai penguatan yang dapat dimasukkan oleh *user* dari *workspace* Matlab.

Blok pada jalur penerima:

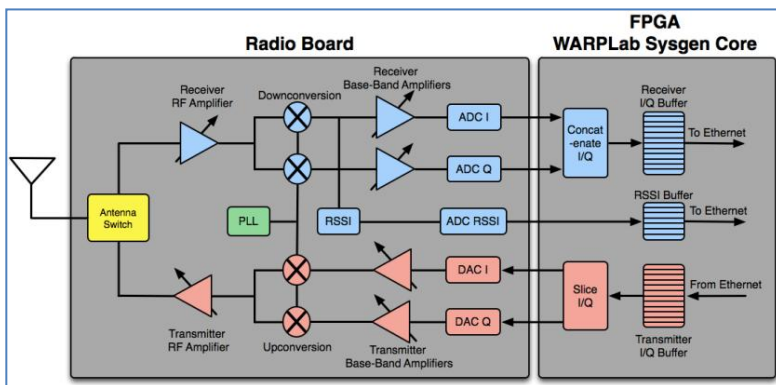
- a. Rx RF Amplifier: *Receiver RF amplifier*, *variabel gain amplifier*, nilai penguatan yang dapat dimasukkan oleh *user* dari *workspace* Matlab.
- b. Downconversion: Mengubah sinyal RF ke basis sinyal *In-Phase/Quadrature* Band. Downconversion dari RF tergantung pada pengaturan PLL.
- c. Rx BB Amplifier: *Receiver Basis Band Amplifier*. Ada dua amplifier, satu untuk sinyal I dan satu untuk sinyal Q. Ini adalah *variabel Gain Amplifier* yang keduanya diatur dengan nilai penguatan yang sama, yang dapat dimasukkan oleh *user* dari *workspace* Matlab.
- d. Rx RF Amplifier: *Receiver RF amplifier*, *variabel gain amplifier*, nilai penguatan yang dapat dimasukkan oleh *user* dari *workspace* Matlab.
- e. Downconversion: Mengubah sinyal RF ke basis sinyal *In-Phase/Quadrature* Band. Downconversion dari RF tergantung pada pengaturan PLL.
- f. Rx BB Amplifier: *Receiver Basis Band Amplifier*. Ada dua amplifier, satu untuk sinyal I dan satu untuk sinyal Q. Ini adalah *variabel Gain Amplifier* yang keduanya diatur dengan

nilai penguatan yang sama, yang dapat dimasukkan oleh *user* dari *workspace* Matlab.

- g. RSSI: *Received Signal Strength Indicator*. Blok ini mengukur RSSI tersebut.
- h. ADC I/Q: *Analog-to-Digital Converter* untuk sampel *In-Phase/Quadrature*.
- i. ADC RSSI: *Analog-to-Digital Converter* untuk pengukuran RSSI . Data RSSI tersedia di 1/4 laju data I/Q.
- j. Rx I/Q Buffer: sampel *In-Phase* yang diterima akan disimpan dalam Rx Buffer I dan sampel *Quadrature* yang diterima akan disimpan di Rx Q Buffer.
- k. RSSI Buffer: RSSI data disimpan dalam buffer ini.

Blok PLL : Pengaturan PLL menentukan frekuensi pembawa yang dapat diatur ke salah satu dari 14 kanal di Wi-Fi 2,4 GHz band atau 23 saluran di 5 GHz. Saluran pembawa dapat diatur langsung dari *workspace* Matlab.

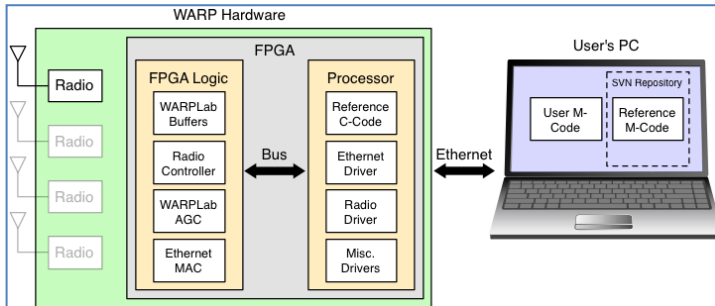
CATATAN: *Receiver RF dan BB gain* dapat diatur menggunakan *Gain Manual Control (MGC)* atau *Automatic Gain Control (AGC)*. Dalam mode MGC pengguna mengambil nilai-nilai dari penguatan dan menetapkan penguatan pada modul menggunakan fungsi yang tersedia dalam Referensi WARPLab M-Code. Dalam mode AGC papan dikonfigurasi sehingga secara otomatis menetapkan penguatan penerima berdasarkan pengukuran RSSI . *Framework* WARPLab memberikan contoh yang menggambarkan bagaimana menggunakan mode MGC dan mode AGC.



**Gambar 2.10** Design Arsitektur WARPLab

### 2.8.3 Gambaran Framework WARPLab[12]

WARPLab adalah *framework* yang bisa menggabungkan WARP dan Matlab. Dengan WARPLab, dapat berinteraksi dengan *node* WARP langsung dari *workspace* Matlab dan sinyal yang dihasilkan dalam MATLAB dapat ditransmisikan secara *real-time* melalui udara (*over-the-air*) menggunakan *node* WARP. Setup WARPLab ditunjukkan pada Gambar 2.16.



**Gambar 2.11** Setup WARPLab

WARPLab sangat fleksibel, mendukung kombinasi dari perangkat keras WARP v1, v2, atau v3. Selain itu juga mendukung sejumlah radio pada setiap *board* WARP. Desain untuk PHY baru adalah sebagai berikut:

- Pengguna membuat dalam Matlab, sampel yang akan dikirim adalah bagian dari *custom* PHY.
- Sampel yang akan dikirim akan didownload ke *buffer* di *node* yang digunakan sebagai pemancar.
- Pengguna mengirimkan *trigger* untuk *node transmitter* dan *receiver*. Setelah penerimaan *trigger* ini, sampel dikirim *over-the-air* dan di-*capture* secara *real-time*.
- Pengguna membaca sampel yang ter-*capture* diambil dari *node* penerima dengan *workspace* Matlab.
- Sampel yang diterima diproses secara *offline* di Matlab

### 2.8.4 Spesifikasi WARPLab[7]

#### Tx/Rx I/O Buffers

- Tx/Rx I/Q Buffers yang *independent*
- Setiap *buffer* dapat menyimpan maksimum  $2^{14}$  sampel
- Frekuensi sampling yang digunakan adalah 40 MHz

Syarat Sinyal yang dipancarkan :

- a. Amplitudo pada bagian real (*In-Phase Signal : I*) adalah  $[-1,1]$  dan amplitudo pada bagian imajiner (*Quadrature Signal : Q*) adalah  $[-1,1]$ . Sinyal I/Q pada pemancar terwakili dalam FPGA menggunakan 15-16 titik tetap.
- b. Frekuensi terendah : 30 KHz (Radio *Filter* DC)
- c. Frekuensi tertinggi : bergantung pada pengaturan frekuensi pada *Tx/Rx Low Pass Filter* (LPF). Secara default, Tx dan Rx LPF diatur oleh *nominal mode*. Adapun pengaturannya adalah sebagai berikut:  
LPF pada pemancar
  - 1) Mode 0 : Undefined
  - 2) Mode 1 : 12 MHz (*Nominal Mode*)
  - 3) Mode 2 : 18 MHz (Turbo Mode 1)
  - 4) Mode 3 : 24 MHz (Turbo Mode 2)LPF pada penerima
  - 1) Mode 0 : 7.5 MHz
  - 2) Mode 1 : 9.5 MHz (Nominal Mode)
  - 3) Mode 2 : 14 MHz (Turbo Mode 1)
  - 4) Mode 3 : 18 MHz (Turbo Mode 2)

I/Q ADC/DAC

- a. Clock selalu pada 40 MHz
- b. Masukan sinyal DAC I/Q direpresentasikan menggunakan titik tetap 16\_15
- c. Masukan sinyal ADC I/Q direpresentasikan menggunakan titik tetap 14\_13

Tx/Rx Amplifiers

- a. Tx RF PA : 30 dB
- b. Tx BB : 0-3 dB
- c. Tx RF : 0-63 dB
- d. Rx BB : 0-31 dB
- e. Rx RF : 0-63 dB

## BAB III

### PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

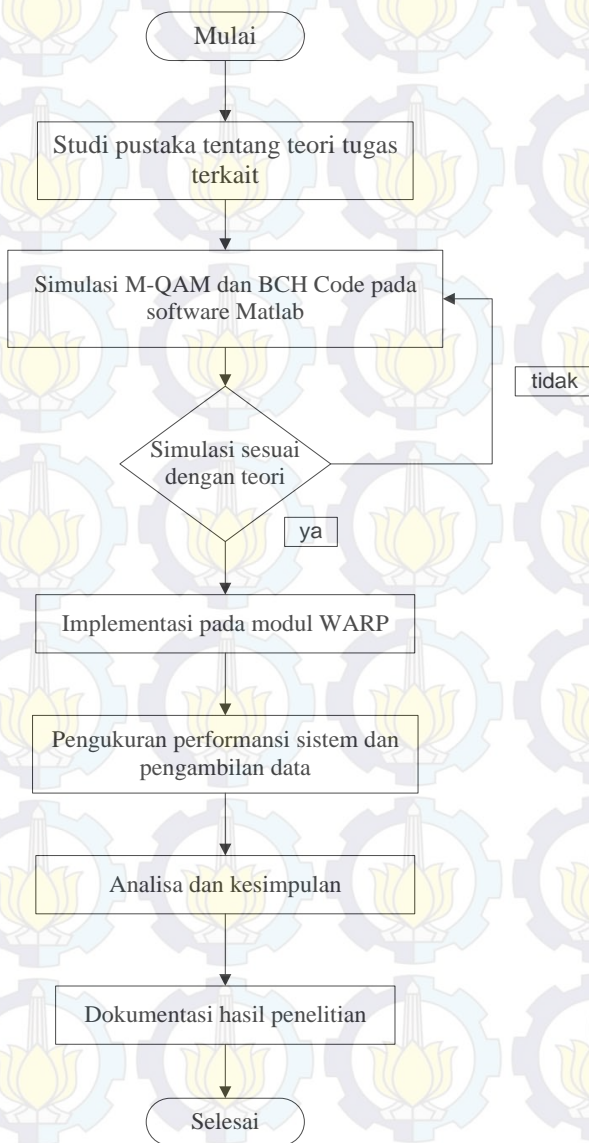
Pada pengerjaan tugas akhir ini terdapat beberapa langkah yang dilakukan dalam pengerjaannya yaitu mengintegrasikan PC dengan WARP, memodelkan sistem komunikasi SISO dengan pengkodean BCH yang menggunakan teknik modulasi M-QAM, serta menerapkan pemodelan menggunakan program MATLAB untuk pengolahan data sebelum dikirim dan setelah diterima.

#### 3.1 Alur Perancangan Sistem

Pada bagian ini adalah bagian awal dari sistem yang dirancang, perlu dilakukan tahapan seperti perencanaan dan implementasi sistem. Perencanaan dibuat untuk memudahkan pengerjaan dari implementasi yang akan dirancang, sehingga analisa terhadap implementasi dapat dipahami. Untuk itu dalam mempermudah implementasi yang akan dibuat dibutuhkan diagram alir seperti pada gambar 3.1. Untuk mengetahui seberapa besar bit yang dikirim dan bagaimana parameter sistem akan dijelaskan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Desain parameter sistem komunikasi SISO dengan pengkodean BCH

No	Parameter	Keterangan/Nilai
1	Level modulasi QAM	4,8,16,32,64
2	<i>Channel coding</i>	BCH
3	Jumlah bit yang dikirimkan	84000
4	Jumlah Preamble	19
5	Jumlah corr window	300
6	Jumlah delay	400
7	Frekuensi <i>Upconvert</i>	5 MHz
8	Frekuensi Sampling	40 MHz
9	Carrier channel	Disesuaikan
10	<i>Upsample rate</i>	13 <i>Sample</i>
11	<i>Symbol rate</i>	$3 \times 10^6$



Gambar 3. 1 Diagram alir perancangan sistem



Tabel 3. 2 Susunan kode BCH

Ukuran Blok	Panjang simbol yang dikodekan	Panjang Parity	Jumlah simbol yang dapat diperbaiki
<b>BCH (7,4)</b>	7	4	1
<b>BCH (15,7)</b>	15	7	2
<b>BCH (31,16)</b>	31	16	3

### 3.2 Perancangan Sistem

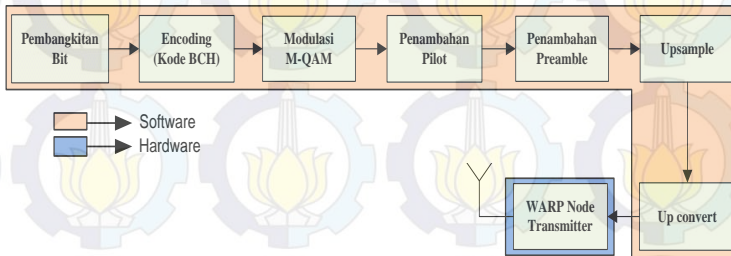
Pada perancangan ini akan dibuat sistem komunikasi SISO dengan pengkodean BCH menggunakan MATLAB. MATLAB dirancang agar terhubung dengan WARP, sehingga dapat mempermudah implementasi yang dilakukan pada kanal yang nyata. Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam proses ini seperti :

1. Pembangkitan bit informasi
2. Pembuatan encoder, dalam hal ini dilakukan proses pengkodean pada bit informasi yang disisipkan bit *parity check* dari Kode BCH.
3. Modulasi, pada bagian ini sistem akan melakukan pergeseran frekuensi dengan frekuensi sinyal pembawa.
4. Demodulasi, pada bagian ini sistem akan mengembalikan ke frekuensi semula tanpa frekuensi pembawa.
5. Pembuatan decoder, pada bagian ini adalah kebalikan dari *encoder*, dimana sinyal informasi yang diterima akan dideteksi kesalahan serta dikoreksi kesalahannya dari *syndrome error*.
6. Dilakukan perhitungan BER, dimana pada bagian ini ditampilkan variasi daya pengirim pada kanal udara serta akan ditampilkan berapa banyak bit yang eror dari seluruh bit yang dikirimkan.

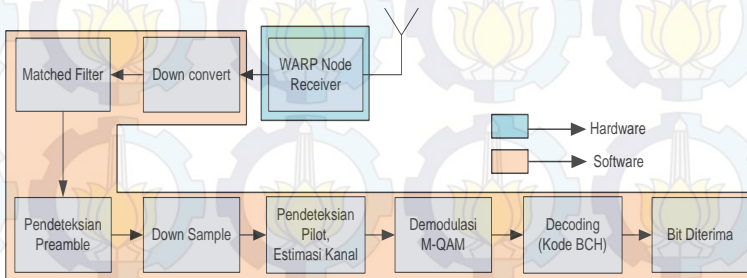
#### 3.2.1. Pada Sisi Pengirim dan Penerima

Pada bagian ini menggunakan program MATLAB dengan cara membangkitkan bit yang akan diolah pada sistem. Input data yang dibangkitkan bersifat tetap, sehingga setiap membangkitkan bit tidak akan berubah setiap waktu pembangkitan. Bit yang dibangkitkan berupa bit 0 dan 1, bit yang dikirim inilah yang akan dibandingkan dengan bit yang akan diterima pada sisi penerima.





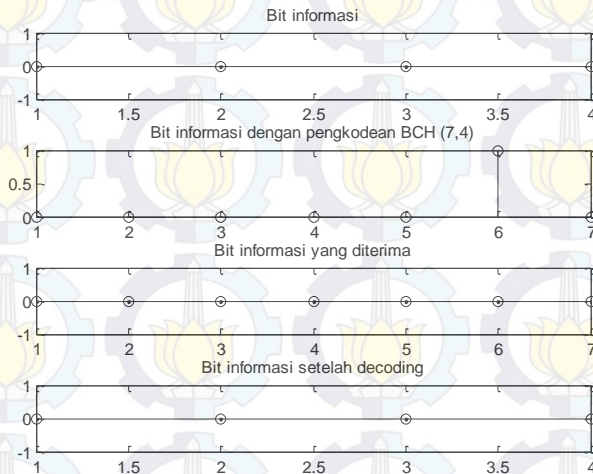
Gambar 3. 2 Blok desain implementasi sistem *transmitter*



Gambar 3. 3 Blok desain implementasi sistem *receiver*

### 3.2.1.1 Pengkodean BCH

Pada proses *encoding* deretan bit informasi dipisahkan per-blok untuk disisipkan bit *parity check* dari Kode Hamming. Besarnya blok informasi yang dipisahkan bergantung pada ukuran blok yang digunakan. Nilai kombinasi yang digunakan dalam sistem komunikasi ini adalah BCH (7,4,1), BCH (15,7,2), BCH (31,16,3). Sehingga apabila untuk BCH (7,4,1) akan terdapat bit *parity check* sebanyak 3 bit, untuk BCH (15,7,2) terdapat 8 bit dan untuk BCH (31,16,3) terdapat 15 bit seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.4.

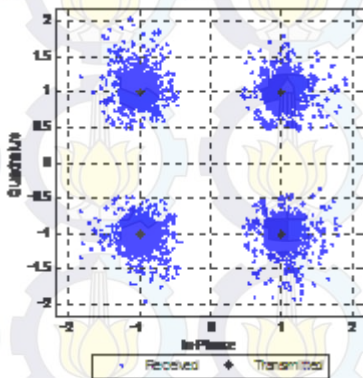


Gambar 3. 4 Proses pengkodean BCH (7,4)

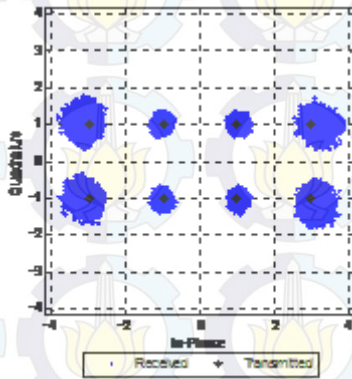
### 3.2.1.2 Blok Modulasi dan Demodulasi

Blok modulasi dilakukan sebelum bit informasi dikirimkan melalui suatu kanal. Modulasi yang digunakan pada perancangan ini adalah *M-ary Quadrature Amplitude Modulation* (M-QAM). Digunakan modulasi M-QAM karena pada modulasi ini mendukung *data rate* yang tinggi dengan cara menumpangkan sinyal informasi pada amplitudo dan fasa sehingga dapat juga mengefisiensi *bandwidth*.

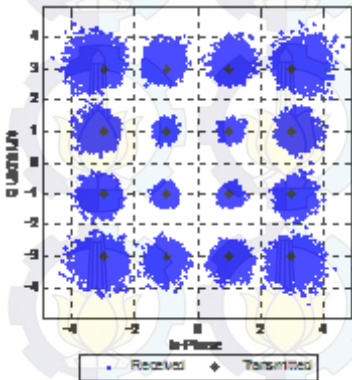
Pada bagian penerima sinyal yang diterima akan di demodulasi, sehingga menghasilkan sinyal informasi. Sinyal informasi tersebut nantinya dideteksi dan dikoreksi kesalahannya dengan menggunakan pengkodean BCH sesuai dengan nilai kombinasi yang ditentukan. Sinyal yang tersebut menjadi sinyal yang diterima. Sinyal inilah yang akan dibandingkan, sehingga menghasilkan *bit error rate* yang nantinya akan ditampilkan dalam grafik. Konstelasi modulasi QAM ini ditunjukkan oleh Gambar 3.5, dimana pada gambar tersebut dapat dilihat semakin besar nilai level modulasi maka akan semakin rapat jarak antar titik konstelasinya.



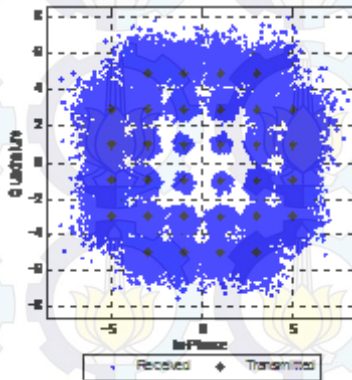
(a)



(b)

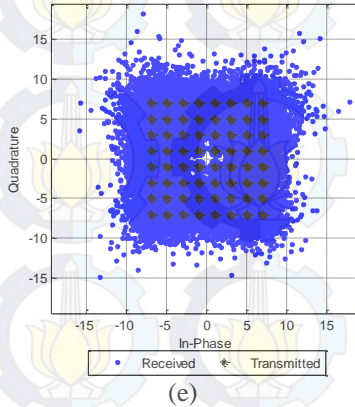


(c)



(d)





Gambar 3. 5 Konstelasi simbol pada level modulasi : (a) 4-QAM (b) 8-QAM (c) 16-QAM (d) 32-QAM (e) 64-QAM

### 3.2.1.3 Pilot untuk estimasi kanal

Untuk memperoleh symbol estimasi pada penerima, digunakan respon impulse kanal nirkabel. Estimasi respon impuls kanal dapat diperoleh dari *pilot sequence* yang disisipkan secara periodik pada pemancar. Satu symbol *pilot* disisipkan untuk mengestimasi  $n$  symbol informasi. Desain penyusunan pilot dapat dilihat pada gambar 3.6. Untuk proses estimasi kanal dilakukan dengan cara memisahkan *channel state information* (CSI) yang diwakili dengan menggunakan simbol deret pilot di pemancar dengan *received signals* ( $y$ ). CSI merupakan respon kanal hasil estimasi dipenerima yang digunakan untuk memperoleh simbol estimasi. Simbol estimasi ( $\hat{s}$ ), diperoleh dengan perkalian antar sinyal yang diterima ( $y$ ) dengan konjugat respon kanal ( $h^*$ ) dibagi dengan kuadrat magnitudo ( $h$ ) yang ditunjukkan pada persamaan berikut[13] :

$$\begin{aligned} y &= s \times h \\ h^* \times y &= s \times h \times h^* \\ h^* \times y &= s \times |h|^2 \\ \hat{s} &= \frac{y \times h^*}{|h|^2} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Simbol estimasi selanjutnya akan didemodulasi untuk memperoleh deretan bit estimasi. *Bit error rate* (BER) diperoleh dengan

membandingkan deretan bit estimasi dengan deretan bit yang dikirimkan dari pemancar.



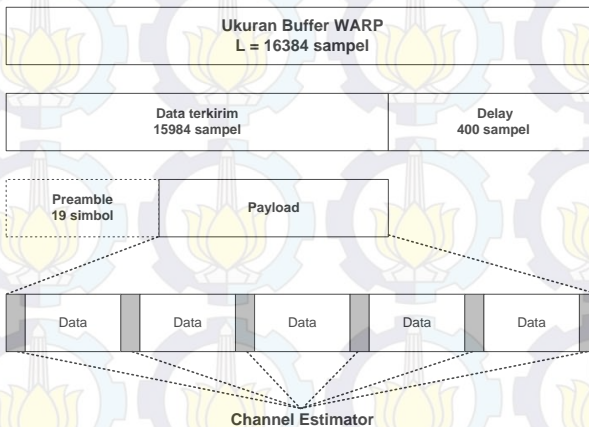
Gambar 3. 6 Susunan *pilot* dan symbol

#### 3.2.1.4 Desain *Frame*

Desain *frame* komunikasi pada WARP mengacu pada batasan-batasan yang diambil dari [7]:

- *Buffer* WARP terbatas sebanyak  $2^{14}$  atau 16384 sampel
- Frekuensi sampling sistem: 40 MHz

Terlepas dari beberapa batasan tersebut, karena karakteristik dari komunikasi melalui *Ethernet*, maka dalam keseluruhan *frame* harus dialokasikan beberapa sample untuk *delay*. Hal ini menjadi penting karena antara pemancar dan penerima akan terjadi *delay* yang disebabkan proses transmisi dan akusisi data pada WARP [7]. Pada proses penentuan desain *frame* komunikasi, akan dialokasikan *delay* sebesar 400 sampel. *Delay* akan diletakkan pada bagian belakang *frame* dengan nilai 0, sehingga *delay* ini bisa disebut juga sebagai *zero padding*.



Gambar 3. 7 Struktur *Frame* Komunikasi

Secara keseluruhan, desain *frame* komunikasi dapat digambarkan pada Gambar 3.7. setelah struktur *frame* ditentukan,

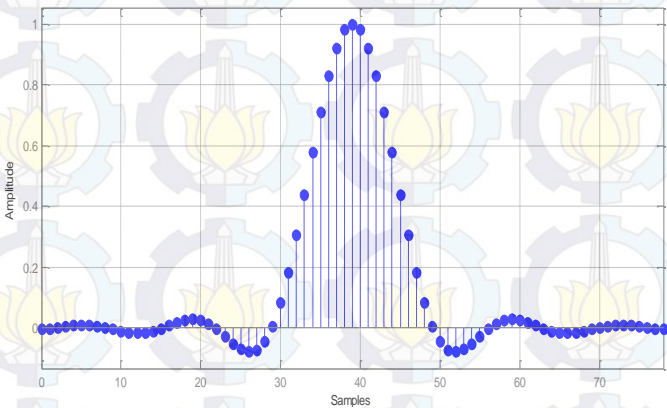
langkah berikutnya yaitu penentuan jumlah symbol yang bisa dikirimkan dalam satu *frame* komunikasi.

**3.2.1.5 Pulse Shaping Filter dan Matched Filter**

Mengirim sinyal pada frekuensi yang tinggi melalui kanal *bandlimited* dapat menimbulkan *inter symbol interferensi* (ISI). Ketika menaikkan tingkat modulasi maka hal yang terjadi ialah *bandwidth* sinyal juga meningkat, dan ketika *bandwidth* sinyal lebih besar dari *bandwidth* kanal hal ini dapat mendistorsi kanal. Distorsi inilah yang disebut dengan *inter symbol interferensi* (ISI). Salah satu teknik yang digunakan untuk mengantisipasi hal ini adalah dengan filter *pulse shaping*. Beberapa contoh filter *pulse shaping* antara lain, *sinc shaped filter*, *gaussian filter* dan *raised cosine filter*. Dalam perancangan ini digunakan filter *raised cosine* karena lebih praktis dalam penggunaan. Filter *raised cosine* pada pengirim dikombinasikan dengan *matched-filter* disisi penerima untuk mencapai toleransi optimal terhadap *noise* pada sistem ini. Parameter desain filter *pulse shaping* dengan filter *raised-cosine* dan *matched filter* ditunjukkan pada Tabel 3.2 dan pada Gambar 3.8.

Tabel 3. 3 Parameter desain *raised cosine filter* dan *matched filter*

Parameter	Nilai	Keterangan
Nsamp	13	Sample/symbol
Filt_order	6	Filter Order
Roll_off	0,9	Rolloff factor filter



Gambar 3. 8 Respon impulse filter *square-root raised-cosine*



### 3.2.1.6 Upconvert dan Downconvert

Proses berikutnya adalah *upconvert* yaitu melakukan konversi sinyal ke frekuensi yang lebih tinggi dengan menggeser frekuensi tengah sinyal *baseband* ke frekuensi yang lebih tinggi. Pada pengerjaan tugas akhir ini frekuensi yang digunakan sebesar 5 MHz. Proses *upconvert* dilakukan untuk menghindari pelemahan dari radio DC. Proses *upconvert* dilakukan dengan mengalikan sinyal terhadap frekuensi sinusoida kompleks, yaitu

$$T_{up} = s(t)xe^{j2\pi f_c t} \quad (3.2)$$

dengan  $f_c$  adalah frekuensi *sampling*,  $t$  adalah waktu *sampling*.

Spesifikasi frekuensi *sampling* pada WARP adalah 40 MHz. Pada *downconvert* sinyal yang diterima dilakukan dengan mengalikan masing-masing sample dengan persamaan 3.3.

$$R_{down}(t) = r(t)xe^{-j2\pi f_c t} \quad (3.3)$$

### 3.2.1.7 Perhitungan Nilai Eb/No

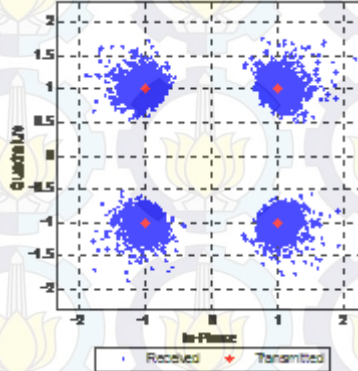
Untuk mendapatkan nilai Eb/No dilakukan langkah-langkah secara umum sebagai berikut :

1. Mengambil nilai real dan imajiner dari konstelasi sinyal yang diterima.
2. Dari nilai real dan imajiner tersebut, kemudian dihitung nilai rata-rata energi simbolnya ( $E_s$ ). Karena masih dalam energi symbol, maka diubah ke energi bit dengan cara :

$$E_b = E_s / \log_2(M) \quad (3.4)$$

Dimana nilai  $M$ , merupakan nilai level modulasi.

3. Kemudian dapatkan nilai *noise* dengan cara menghitung variance dari nilai titik konstelasi.
  4. Setelah itu baru dilakukan pembagian antara nilai  $E_b$  dan nilai  $N_0$ . Selanjutnya, dilakukan konversi ke satuan dB.
- Perhitungan pada modulasi 4-QAM
- a. Mengambil nilai real dan imajiner dari konstelasi sinyal yang diterima. Berikut gambar konstelasi 4-QAM:



- b. Dari nilai real dan imajiner tersebut, kemudian dihitung nilai rata-rata energi simbolnya ( $E_s$ ) dengan cara berikut:

$$E_s = a^2 + b^2 \quad (3.5)$$

Dimana a adalah level amplitudo inphase dan b adalah level amplitude quadrature. Setelah didapat nilai  $E_s$  pada masing – masing titik konstelasi, maka dilakukan perhitungan rata – rata seperti berikut:

$$E_s = \frac{E_{s1} + E_{s2} + E_{s3} + E_{s4}}{4} \quad (3.6)$$

- c. Karena masih dalam energi symbol, maka diubah ke energi bit dengan cara :

$$E_b = \frac{E_s}{\log_2 M} = \frac{E_s}{\log_2 4} = \frac{E_s}{2} \quad (3.7)$$

- d. Untuk menghitung variansi *noise*, maka ke empat titik konstelasi tersebut digabung menjadi satu titik dengan cara berikut:

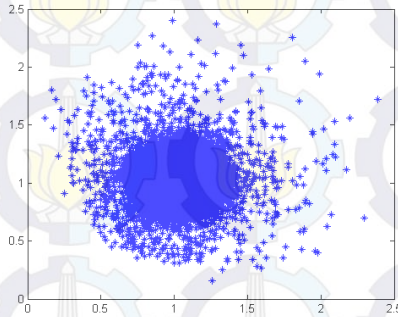
$$Inphase = abs(Nilai inphase)$$

$$Quadrature = abs(Nilai Quadrature)$$

$$S = inphase + quadrature$$

Sehingga menjadi gambar berikut:





- e. Selanjutnya dilakukan perhitungan variansi *noise* dengan cara berikut:

$$N_o = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |S_i - \mu|^2 \quad (3.8)$$

Dimana  $\mu$  adalah rata – rata dari S.

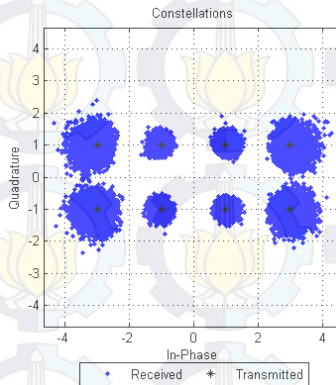
- f. Setelah itu baru dilakukan pembagian antara nilai Eb dan nilai No seperti berikut:

$$\gamma = \frac{E_b}{N_o} \quad (3.9)$$

$$\gamma(dB) = 10 \log_{10} \gamma \quad (3.10)$$

- Perhitungan pada modulasi 8-QAM

- a. Mengambil nilai real dan imajiner dari konstelasi sinyal yang diterima. Berikut gambar konstelasi 8-QAM:



- b. Dari nilai real dan imajiner tersebut, kemudian dihitung nilai rata-rata energi simbolnya ( $E_s$ ) dengan cara berikut:

$$E_s = a^2 + b^2 \quad (3.11)$$

Setelah didapat nilai  $E_s$  pada masing – masing titik konstelasi, maka dilakukan perhitungan rata – rata seperti berikut:

$$E_s = \frac{E_{s1} + E_{s2} + E_{s3} + \dots + E_{s8}}{8} \quad (3.12)$$

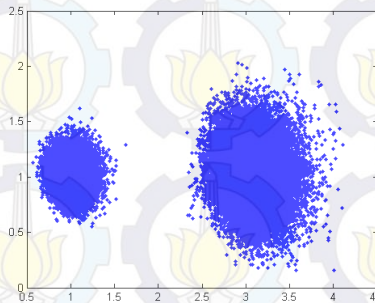
- c. Karena masih dalam energi symbol, maka diubah ke energi bit dengan cara :

$$E_b = \frac{E_s}{\log_2 M} = \frac{E_s}{\log_2 8} = \frac{E_s}{3} \quad (3.13)$$

- d. Untuk menghitung variansi *noise*, maka ke delapan titik konstelasi tersebut digabung menjadi satu titik dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} Inphase &= abs(Nilai inphase) \\ Quadrature &= abs(Nilai Quadrature) \end{aligned}$$

Sehingga menjadi gambar berikut:

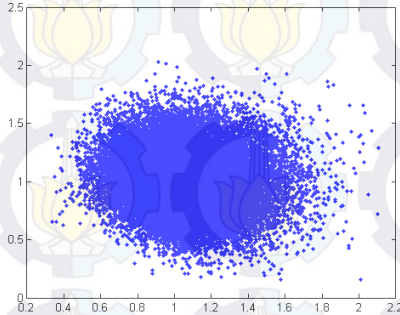


Karena masih belum menjadi satu titik, maka dilakukan penggabungan lagi dengan cara:

$$Inphase = abs(inphase) - 2$$

$$S = inphase + quadrature$$

Sehingga menjadi:



- e. Selanjutnya dilakukan perhitungan variansi *noise* dengan cara berikut:

$$N_o = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |S_i - \mu|^2 \quad (3.14)$$

Dimana  $\mu$  adalah rata – rata dari  $S$ .

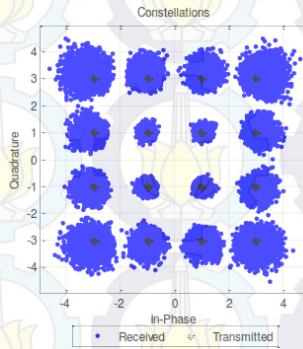
- f. Setelah itu baru dilakukan pembagian antara nilai  $E_b$  dan nilai  $N_o$  seperti berikut:

$$\gamma = \frac{E_b}{N_o} \quad (3.15)$$

$$\gamma(dB) = 10 \log_{10} \gamma \quad (3.16)$$

- Perhitungan pada modulasi 16-QAM
  - a. Mengambil nilai real dan imajiner dari konstelasi sinyal yang diterima. Berikut gambar konstelasi 16-QAM:





- b. Dari nilai real dan imajiner tersebut, kemudian dihitung nilai rata-rata energi simbolnya ( $E_s$ ) dengan cara berikut:

$$E_s = a^2 + b^2 \quad (3.17)$$

Setelah didapat nilai  $E_s$  pada masing – masing titik konstelasi, maka dilakukan perhitungan rata – rata seperti berikut:

$$E_s = \frac{E_{s1} + E_{s2} + E_{s3} + \dots + E_{s16}}{16} \quad (3.18)$$

- c. Karena masih dalam energi symbol, maka diubah ke energi bit dengan cara :

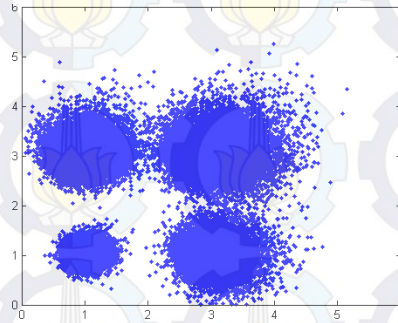
$$E_b = \frac{E_s}{\log_2 M} = \frac{E_s}{\log_2 16} = \frac{E_s}{4} \quad (3.19)$$

- d. Untuk menghitung variansi *noise*, maka ke enam belas titik konstelasi tersebut digabung menjadi satu titik dengan cara berikut:

$$Inphase = abs(Nilai inphase)$$

$$Quadrature = abs(Nilai Quadrature)$$

Sehingga menjadi gambar berikut:



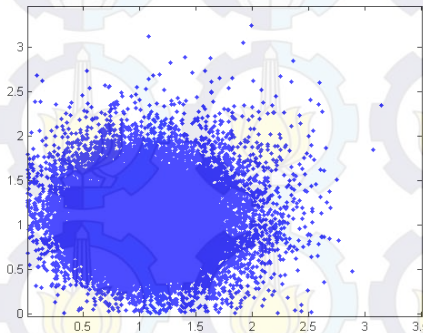
Karena masih belum menjadi satu titik, maka dilakukan penggabungan lagi dengan cara:

$$Inphase = abs(inphase) - 2$$

$$Quadrature = abs(Quadrature) - 2$$

$$S = inphase + quadrature$$

Sehingga menjadi:



- e. Selanjutnya dilakukan perhitungan variansi *noise* dengan cara berikut:

$$N_o = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |S_i - \mu|^2 \quad (3.20)$$

Dimana  $\mu$  adalah rata – rata dari S.

- f. Setelah itu baru dilakukan pembagian antara nilai Eb dan nilai No seperti berikut:

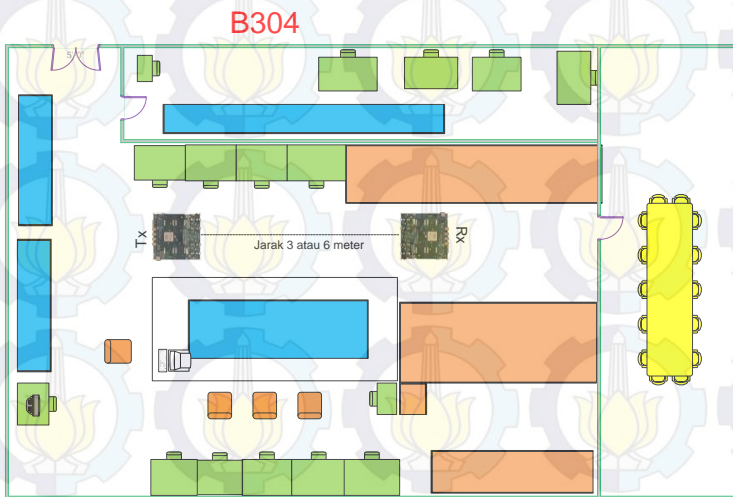
$$\gamma = \frac{E_b}{N_o}$$

$$\gamma(dB) = 10 \log_{10} \gamma$$

### 3.2.2. Pada Kanal

Kanal yang digunakan dalam perancangan sistem komunikasi SISO dengan pengkodean BCH yang menggunakan teknik modulasi M-QAM ini adalah kanal yang real, artinya dalam metode ini menggunakan kanal udara yang sesungguhnya. Hal ini dilakukan sebagai pendekatan sistem komunikasi sesungguhnya, sehingga kita dapat menganalisa dan dapat menentukan parameter dalam perancangan ini.

Pengukuran lingkungan *indoor* dilakukan di ruang B304 Laboratorium Telekomunikasi Multimedia jurusan Teknik Elektro. Jarak pengukuran antara WARP *node transmitter* dan WARP *node receiver* adalah 3m, dan 6m. Denah ruang pengukuran *indoor* ditunjukkan pada gambar 3.9



Gambar 3. 9 Skema pengukuran diruangan *indoor*

Pada pengukuran digunakan kanal 8 karena pada kanal tersebut terhindar dari interferensi yang ada pada ruangan B.304.



### 3.3 Metode Pengukuran

Pada tugas akhir ini, pengukuran dilakukan dalam kondisi lingkungan *indoor* tanpa *obstacle* atau secara *line-of-sight* (LOS). Tujuan pengukuran pada lingkungan *indoor* dan *outdoor* adalah untuk membandingkan kinerja dari sistem komunikasi SISO dengan pengkodean BCH menggunakan teknik modulasi M-QAM pada WARP dalam kondisi lingkungan *indoor*.

Pengukuran lingkungan *indoor* dilakukan di ruang B304 Laboratorium Telekomunikasi Multimedia jurusan Teknik Elektro. Jarak pengukuran antara WARP *node transmitter* dan WARP *node receiver* adalah 3m dan 6m.

### 3.4 Sistem

Dalam melakukan pengukuran dengan modul WARP ini diperlukan pemahaman tentang bagaimana modula tersebut bekerja serta bagaimana karakteristik dari komponen yang digunakan.

#### 3.4.1. Karakteristik Radio Board WARP versi 1.4

Modul WARP mempunyai karakteristik khusus yaitu dapat digunakan sebagai modul *transceiver* pada proses komunikasi. Modul radio board ini didesain khusus oleh universitas Rice dengan versi 1.4 [7]. Bentuk dari radio board dapat dilihat pada gambar 3.9. Cara kerja dari modul radio board ini akan lebih jelas dijabarkan pada gambar 3.10. Pada saat radio board bekerja sebagai *transmitter* maka sinyal digital pada modul WARP akan diubah menjadi sinyal analog oleh AD9777 kemudian dipancarkan menggunakan MAX2829. Di penerima akan terdapat dua sinyal yang diproses oleh WARP, yaitu sinyal informasi I/Q dan sinyal RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*).



Gambar 3. 10 Radio Versi 1.4

#### 3.4.1.1. Gain setting

Pengaturan gain melalui WARPLab tergantung kepada *radio board*. Secara umum, pengaturan gain dapat dijelaskan sebagai berikut:

a) *Transmitter Radio Frequency Gain*

Perbandingan antara daya tx output dengan gain setting diperlihatkan pada Gambar 3.3.

b) *Transmitter Baseband Gain*

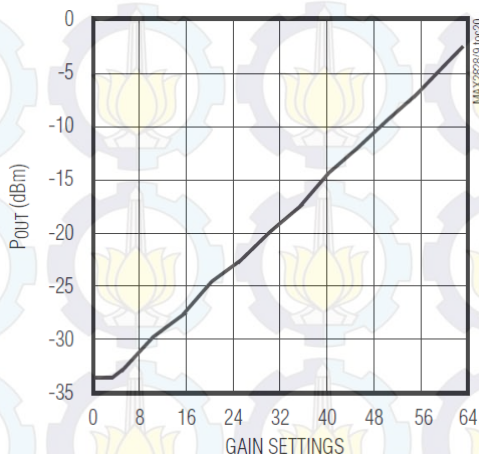
Untuk *baseband* gain, terdapat 4 level pengaturan melalui WARPLab yaitu [0, 1, 2, 3] dengan nilai gain *baseband* dalam dB yaitu [-5, -3, -1.5, 0] dB [7].

c) *Receiver Baseband Gain*

Pada gain *baseband receiver*, terdapat 32 level pengaturan. Range pengaturuan *baseband receiver* yaitu [0:31] dengan nilai dalam dB yaitu [0:63] dB [7].

d) *Receiver Radio Frequency Gain*

Pada pengaturan RF gain di penerima terdapat 3 level yaitu [0, 1, 2, 3] dengan nilai dalam dB yaitu [0, 15, 30] dB [13].



Gambar 3. 11 Tx Output Power vs Gain Setting MAX2829 [8]



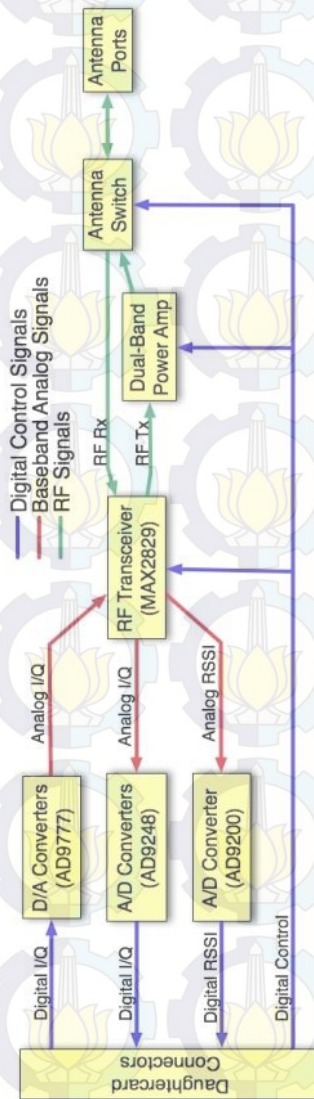
### 3.4.2. Integrasi PC dengan modul WARP

Pada penelitian ini menggunakan dua modul WARP versi 2 yaitu *node 1* dan *node 2*, proses integrasi WARP dengan PC menggunakan *switch ethernet* dan kabel LAN, seperti dapat dilihat pada Gambar 3.13.

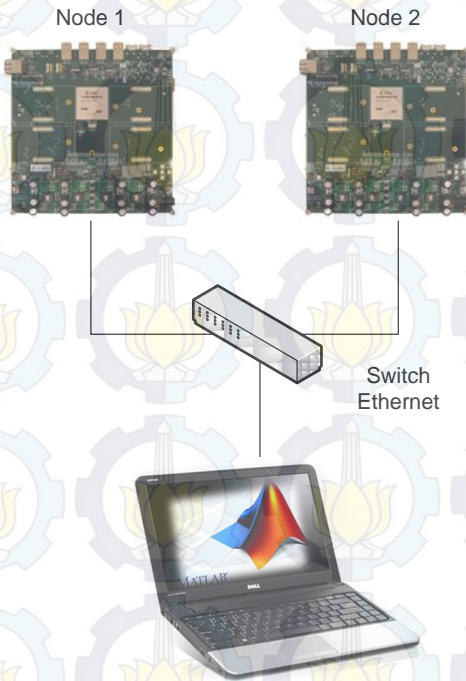
Pada pengerjaan tugas akhir ini digunakan WARPLab versi 7.1, WARP ini akan diintegrasikan dengan PC. WARPLab digunakan agar sinyal yang dibangkitkan melalui program Matlab bisa dikirimkan antar modul WARP secara *real time*. Langkah-langkah dalam proses integrasi PC dengan WARP versi 2 sebagai berikut :

1. Menghubungkan PC dengan WARP dengan menggunakan *switch ethernet* menggunakan kabel LAN seperti pada Gambar 3.13.
2. Mengatur IP pada PC dan `warplab_defines` pada program Matlab (IP yang digunakan harus sama antara PC dan Matlab).
3. Mengatur *routing ARP* pada *Command Prompt* dengan *run as administrator*.
4. Mengatur nomor IP pada WARP menjadi 10.0.0.1 untuk *node 1* (pengirim) dan 10.0.0.2 untuk *node 2* (penerima).

Pengaturan dilakukan dengan cara mengatur *dipswitch* sehingga menjadi seperti Gambar 3.14.



Gambar 3. 12 Blok Diagram Radio Board [7]



Gambar 3. 13 Konfigurasi sistem komunikasi SISO dengan WARP

### 3.4.3. Proses Pengiriman Sinyal dan Komunikasi

Proses pemrograman perangkat WARP dilakukan melalui WARPLab dan *software* MATLAB. Langkah-langkah komunikasi dengan menggunakan WARP untuk mengirimkan data seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.4.

Pada tahap awal, sinyal yang akan dikirim dalam bentuk kompleks IQ (*Inphase Quadrature*) dimana sinyal *inphase* merupakan bagian *real* sementara sinyal *quadrature* merupakan bagian *imaginer*. Sinyal yang akan dikirim disimpan pada *buffer* Tx dengan ukuran  $2^{14}$ . Setelah proses penyimpanan sinyal pada *buffer* Tx selesai, maka dilakukan persiapan pengiriman dan penerimaan data dengan mengaktifkan radio pada node pengirim dan penerima.



```

Command Window
Select from the following available transports:
[1] (default) Java UDP
Selection:
    setting to java

-----
Enable jumbo frame support? (experimental)
[1] (default) false
[2] true
Selection:
    setting to false

-----

Setup Complete
wl_ver():
WARELab v7.1.0
>> wl_initNodes(2)

ans =

Displaying properties of 2 wl_node objects:
  ID | WLVVER | HWVER | Serial # | Ethernet MAC Addr | Address |
-----
  0 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-00 | 10.0.0.1 |
-----
  1 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-01 | 10.0.0.2 |
-----
f2 >>

```

Gambar 3. 14 Indikator keberhasilan Integrasi PC dengan WARP

Proses komunikasi dilakukan dengan mengirimkan sebuah paket ‘trigger’ kepada semua *node* secara bersamaan. Ketika sebuah *node* milik *transmitter* dalam kondisi *enable*, maka *node* tersebut akan memancarkan sinyal yang tadi terdapat pada *buffer*. Jika sebuah *node* milik *receiver* dalam kondisi *enable*, maka *node* tersebut akan menerima sinyal yang dipancarkan oleh *node transmitter*.

Ketika proses komunikasi selesai, data yang dikirimkan oleh *transmitter* akan diterima oleh *node Rx*. Proses pengambilan data dilakukan dengan membaca data yang terdapat pada *buffer* node Rx.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

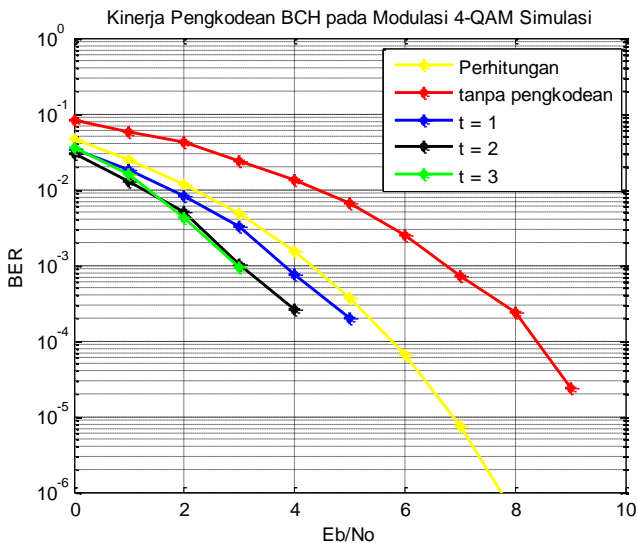
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

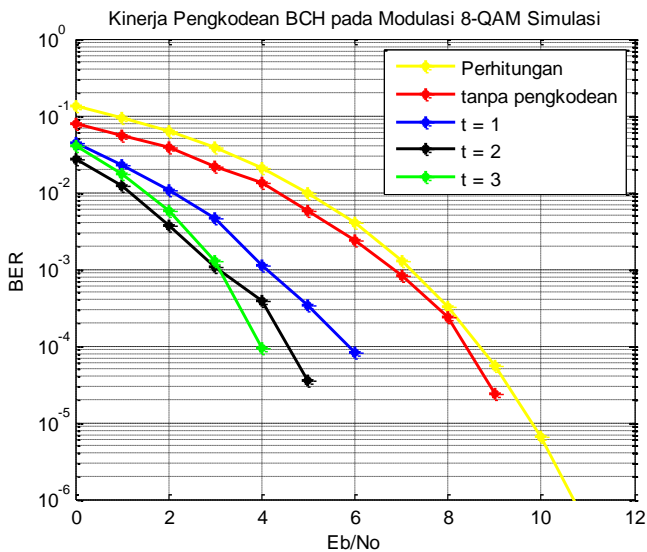
Pada bab ini akan dilakukan analisa kinerja sistem komunikasi SISO dengan pengkodean BCH menggunakan teknik modulasi M-QAM yang membandingkan *Bit Error Rate* (BER) pada lingkungan *indoor* berjarak 3 meter dan 6 meter dengan kondisi tanpa halangan.

#### 4.1. Kinerja Sistem Menggunakan Kode BCH dan Tanpa Pengkodean secara Simulasi dan Perhitungan

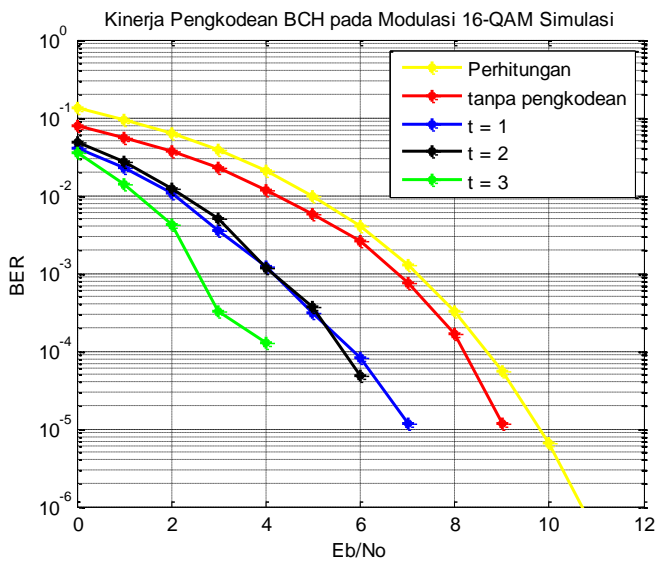
Pada sub bab ini disimulasikan suatu sistem pengkodean BCH dan tanpa pengkodean menggunakan modulasi M-QAM pada kanal AWGN. Kinerja secara simulasi dilakukan dengan memvariasikan nilai  $E_b/N_0$  pada kanal AWGN sehingga didapatkan nilai BER (*Bit Error Rate*) dari sistem tersebut. Kurva perbandingan kinerja pengkodean pada setiap modulasi ditunjukkan pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5.



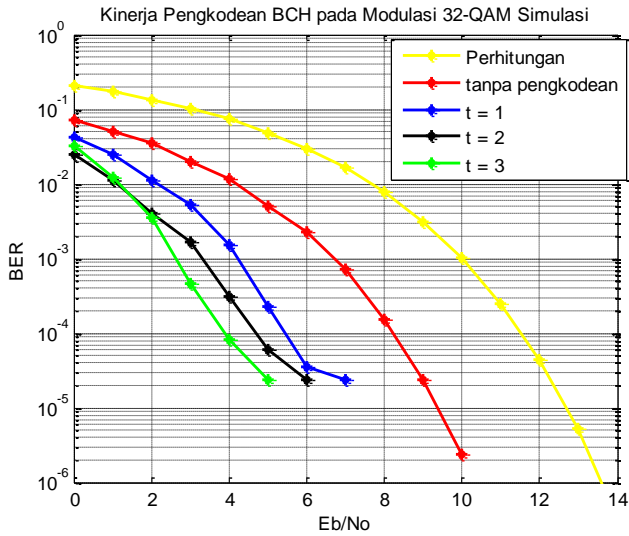
**Gambar 4. 1** Simulasi kinerja BER 4-QAM dengan dan tanpa Kode BCH



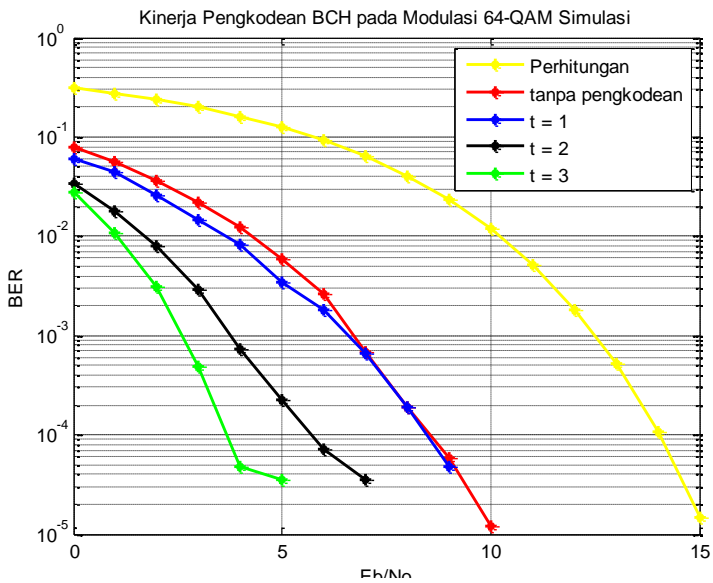
**Gambar 4. 2** Simulasi kinerja BER 8-QAM dengan dan tanpa Kode BCH



**Gambar 4. 3** Simulasi kinerja BER 16-QAM dengan dan tanpa Kode BCH



**Gambar 4. 4** Simulasi kinerja BER 32-QAM dengan dan tanpa Kode BCH



**Gambar 4. 5** Simulasi kinerja BER 64-QAM dengan dan tanpa Kode BCH



Secara keseluruhan dapat diamati bahwa, penggunaan kode BCH mampu memberikan perbaikan untuk sistem modulasi M-QAM. Kode BCH (31,16) dengan kemampuan koreksi 3 kesalahan memiliki kemampuan koreksi yang paling baik dibandingkan kode BCH yang lain. Kinerja dari pengkodean BCH yang paling baik ditunjukkan pada saat modulasi 4-QAM, hal tersebut ditunjukkan saat kode BCH(7,4) saat nilai  $E_b/N_0 = 5$  dB sudah memiliki nilai BER = 0, kemudian pada BCH(15,7) BER = 0 saat nilai  $E_b/N_0 = 4$  dB dan saat BCH(31,16) BER = 0 saat nilai  $E_b/N_0 = 3$  dB. Akan tetapi pada saat modulasi 64-QAM, kode BCH(7,4) memiliki nilai perbaikan yang kurang baik karena nilai BER yang berdekatan dengan kondisi tanpa pengkodean saat level modulasi tersebut.

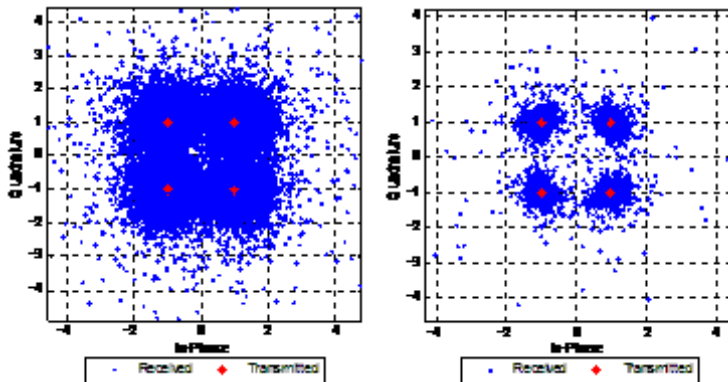
Karena pada simulasi terdapat beberapa keterbatasan dalam pengujian sistem, oleh karena itu pengujian diimplementasikan pada WARP. Karena pada WARP dapat melakukan pengamatan sistem yang dibangun secara *real* dengan menggunakan kanal *wireless*. Tentunya pada kanal wireless pengaruh terhadap sistem tidak bergantung pada *noise* yang dibangkitkan saja namun adanya pengaruh lingkungan dan *interferensi* pada kanal juga memberikan pengaruh pada sistem. Dengan WARP dapat dilakukan pengamatan variasi jarak terhadap sistem yang dibuat dengan mengubah jarak antara pengirim dan penerima terhadap sistem yang dibuat.

## **4.2. Konstelasi Simbol pada Penerima**

Hasil konstelasi pada penerima dianalisa berdasarkan pengaruh variasi daya pancar dan pengaruh dari level modulasi. Konstelasi pada penerima juga dibandingkan dengan konstelasi pada pengirim agar diketahui bagaimana perbandingan antara konstelasi di pengirim dan penerima.

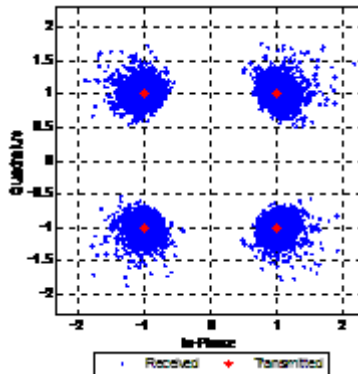
### **4.2.1. Hasil Konstelasi Modulasi 4-QAM**

Pada Gambar 4.1 menunjukkan pengaruh perubahan gain pada hasil konstelasi penerima. Terlihat bahwa apabila pada daya -31dBm konstelasi penerima menunjukkan saling berhimpit dan tidak mengumpul menjadi 4 titik konstelasi terpisah seperti pada pengirim serta titik konstelasi penerima tidak mengumpul di sekitar titik konstelasi pengirim. Sedangkan untuk konstelasi pada daya -13dBm terlihat mengumpul di sekitar titik konstelasi pada pemancar dan juga daerah keputusan modulasi 4-QAM sudah terlihat.



(a)

(b)

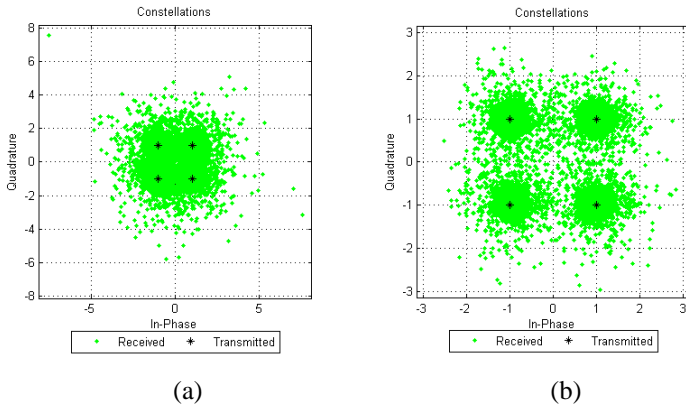


(c)

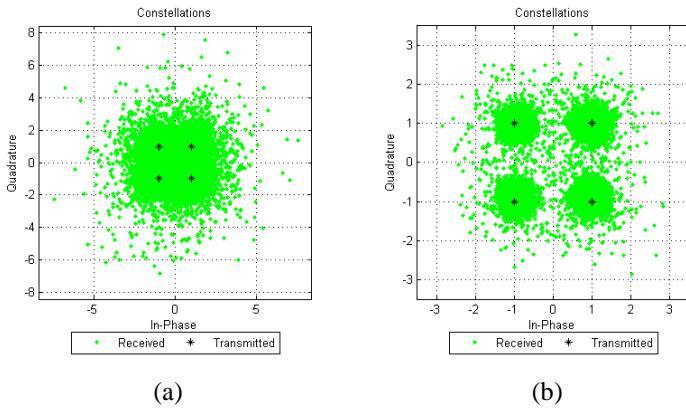
**Gambar 4. 6** Hasil Konstelasi 4-QAM pada daya pancar : (a) -31 dBm (b) -19 dBm dan (c) -13 dBm

Kemudian dilakukan pengujian untuk penambahan amplitude pilot mulai dari 4, 6 dan 10. Dari Gambar 4.2 yang merupakan hasil dari penambahan amplitude pilot = 4, dapat kita lihat saat daya -19dBm bentuk konstelasi penerima menunjukkan saling berhimpit dan tidak mengumpul menjadi 4 titik konstelasi terpisah seperti pada pengirim. Apabila kita bandingkan dengan hasil konstelasi pada kondisi tanpa penambahan amplitude pilot saat daya yang sama yaitu -19dBm, hasil konstelasi dari tanpa penambahan pilot lebih baik dari pada hasil penambahan amplitude pilot = 4. Hal serupa juga terjadi pada daya -13dBm, konstelasi tanpa

penambahan amplitudo menunjukkan bentuk konstelasi yang lebih baik.



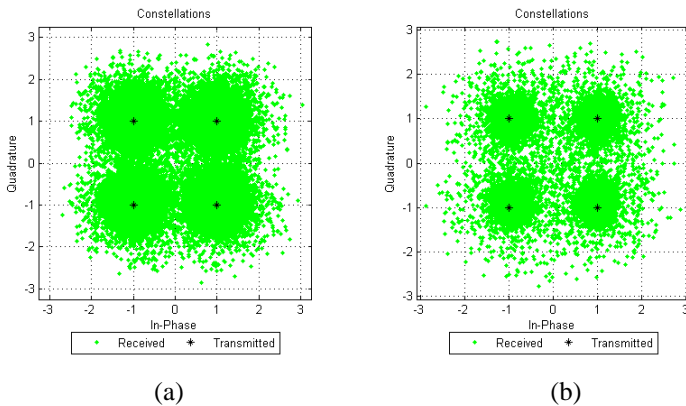
**Gambar 4. 7** Konstelasi saat amplitudo pilot = 4 dengan daya pancar : (a) -19 dBm dan (b) -13 dBm



**Gambar 4. 8** Konstelasi saat amplitudo pilot = 6 dengan daya pancar : (a) -19 dBm dan (b) -13 dBm

Penambahan amplitudo selanjutnya yaitu penambahan 6. Seperti pada Gambar 4.3, hasil konstelasi saat daya pancar -19dBm juga menunjukkan saling berhimpit dan tidak mengumpul menjadi 4 titik konstelasi terpisah seperti pada pengirim. Sedangkan untuk daya pancar saat -13dBm, menunjukkan hasil konstelasi yang lebih mengumpul di sekitar titik konstelasi pengirim dibandingkan dengan kondisi penambahan amplitude = 4.

Pengujian selanjutnya yaitu dengan penambahan amplitude pilot = 10. Hasil konstelasi saat daya -19dBm, menunjukkan saling berhimpit akan tetapi jika dibandingkan dengan penambahan = 6, bentuk konstelasi terlihat mulai mengumpul ke titik konstelasi pengirim. Sedangkan untuk daya -13dBm, penyebaran symbol masih besar dan terlihat masih tidak mendekati titik konstelasi pengirim. Jika dibandingkan dengan penambahan amplitude = 6, bentuk konstelasi tidak lebih baik saat daya -13dBm. Oleh karena itu, pada modulasi 4-QAM tidak diperlukan penambahan amplitude pilot dikarenakan bentuk konstelasi jika dibandingkan tanpa menggunakan penambahan amplitude pilot menjadi tidak sebaik hasil konstelasi tanpa menggunakan penambahan. Selain itu, jika dilihat pada kurva BER pada lampiran, nilai BER tanpa menggunakan penambahan pilot memiliki nilai BER terkecil.

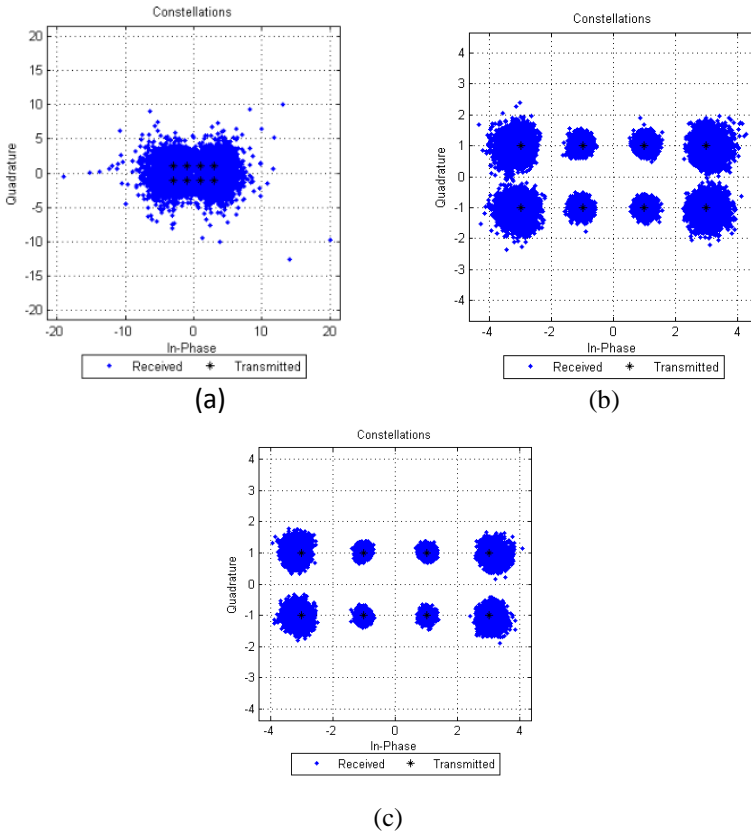


**Gambar 4. 9** Konstelasi saat amplitudo pilot = 10 dengan daya pancar : (a) -19 dBm dan (b) -13 dBm

#### 4.2.2. Hasil Konstelasi Modulasi 8-QAM

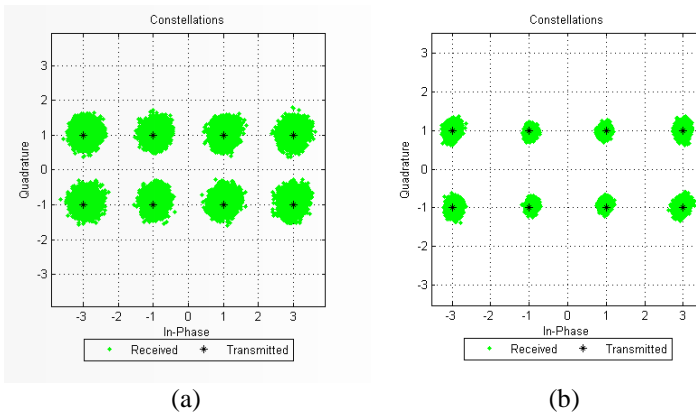
Hasil sinyal konstelasi dengan variasi daya pancar yang lebih tinggi tampak lebih baik, Hal tersebut ditunjukkan dengan semakin jelas terbentuknya titik konstelasi menjadi sejumlah level modulasinya. Sehingga kecenderungannya, semakin tinggi daya pancar nya maka akan semakin baik konstelasi simbol yang diterima. Hal tersebut juga menyebabkan nilai BER yang dihasilkan mengalami penurunan. Pengaruh penggunaan beberapa variasi daya pancar terhadap konstelasi

sinyal diterima akan ditunjukkan pada Gambar 4.5.



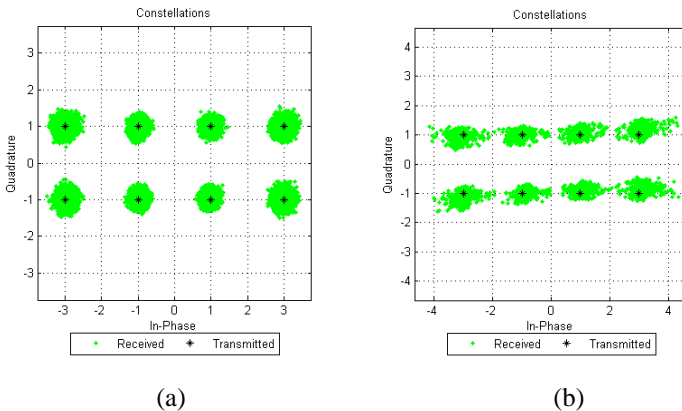
**Gambar 4. 10** Hasil Konstelasi 8-QAM pada daya pancar : (a) -31 dBm (b) -19 dBm dan (c) -13 dBm

Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa terjadi penyebaran simbol yang besar pada amplitude lebih dari satu. Untuk modulasi 8-QAM ini, amplitude maksimal bernilai tiga. Sehingga untuk membuat penyebaran simbol yang besar tersebut menjadi kecil, maka dilakukan perubahan variasi nilai amplitude pilot yaitu 4, 6, 10 serta dengan amplitudo preamble = 5. Amplitude preamble juga dinaikkan dengan tujuan untuk menjaga kestabilan nilai error yang terjadi.



**Gambar 4. 11** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 4 dengan daya pancar : (a) -13 dBm dan (b) -7 dBm

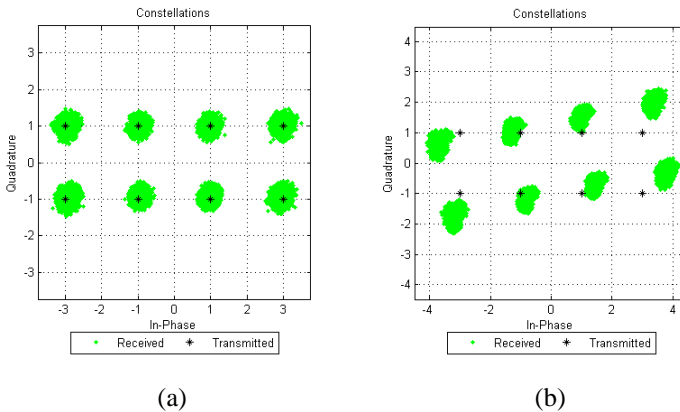
Pada Gambar 4.6 terlihat bahwa titik konstelasi sudah memiliki penyebaran yang sama jika dibandingkan dengan hasil konstelasi pada daya pancar -13 dBm keadaan tanpa variasi amplitude pilot. Akan tetapi jika kita besarkan daya pancarnya menjadi -7dBm, maka hasil konstelasi masih menunjukkan penyebaran symbol yang tidak merata.



**Gambar 4. 12** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 6 dengan daya pancar : (a) -13 dBm dan (b) -7 dBm

Sedangkan untuk Gambar 4.7 dengan amplitude pilot = 6, terlihat bahwa penyebaran symbol pada setiap titik konstelasi juga sudah sama besar pada daya pancar -13 dBm. Apabila dibandingkan dengan

amplitude pilot = 4 pada daya pancar -13 dBm, titik konstelasi pada pilot = 6 lebih kecil dari pada pilot = 4. Sedangkan saat daya pancar dinaikkan menjadi -7dBm, terlihat bentuk konstelasi yang tidak semakin baik. Hal tersebut dikarenakan pada pengaturan gain tertentu pada pemancar, dalam hal ini gain = 60, maka power amplifier bekerja pada daerah saturasi yang menyebabkan distorsi fasa. Hal tersebut dapat dilihat pada rincian spesifikasi dari power amplifier terutama pada Figure 3, dimana pada kurva tersebut menunjukkan perbandingan antara *Error Vector Magnitude* (EVM) dan daya output power amplifier. Dapat terlihat bahwa untuk daya output lebih besar dari 20 dBm, maka nilai EVM akan meningkat. Sedangkan yang berdasarkan hasil pengukuran menggunakan spectrum analyzer dengan pengaturan gain pada rf amplifier MAX2829 = 60, maka daya ouput pada power amplifier adalah 21 dBm.



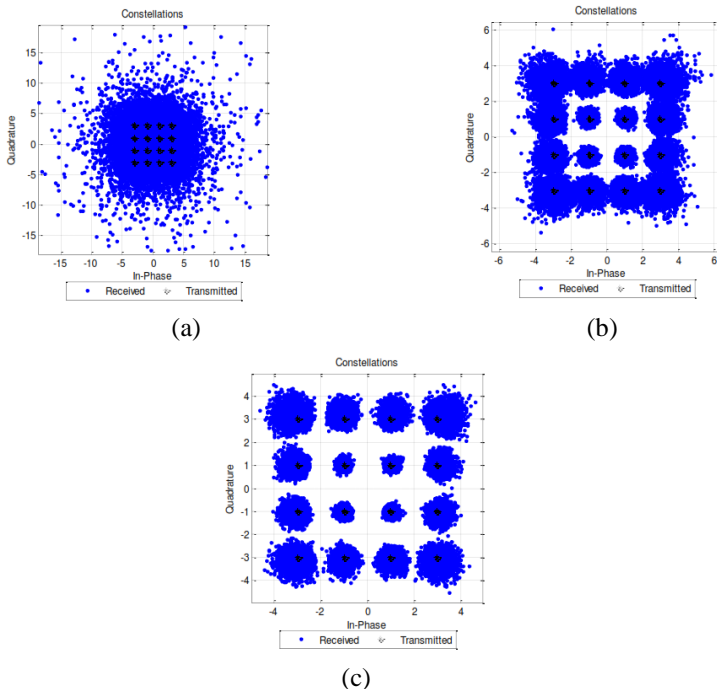
**Gambar 4. 13** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 10 dengan daya pancar : (a) -13 dBm dan (b) -7 dBm

Untuk konstelasi dengan amplitudo pilot = 10, terlihat juga memiliki penyebaran symbol yang sama di setiap titik konstelasi. Pada amplitudo ini tidak terlihat perbedaan penyebaran titik konstelasi jika dibandingkan dengan amplitudo = 6. Sedangkan saat daya pancar dinaikkan menjadi -7dBm, terlihat bentuk konstelasi yang mengalami pergeseran fasa. Sama dengan kondisi sebelumnya pada amplitudo = 4, hal tersebut dikarenakan pada pengaturan gain tertentu pada pemancar,

dalam hal ini gain = 60, maka power amplifier bekerja pada daerah saturasi yang menyebabkan distorsi fasa.

### 4.2.3. Hasil Konstelasi Modulasi 16-QAM

Pada Gambar 4.9 menunjukkan pengaruh perubahan gain pada hasil konstelasi penerima. Hasil sinyal konstelasi dengan variasi daya pancar yang lebih tinggi tampak lebih baik. Terlihat bahwa apabila pada daya -31dBm konstelasi penerima menunjukkan saling berhimpit dan tidak mengumpul menjadi 4 titik konstelasi terpisah seperti pada pengirim serta titik konstelasi penerima tidak mengumpul di sekitar titik konstelasi pengirim. Selain itu, tidak menunjukkan titik konstelasi sejumlah level modulasinya. Sedangkan untuk konstelasi pada daya -13dBm terlihat mengumpul di sekitar titik konstelasi pada pemancar dan juga daerah keputusan modulasi 16-QAM sudah terlihat.

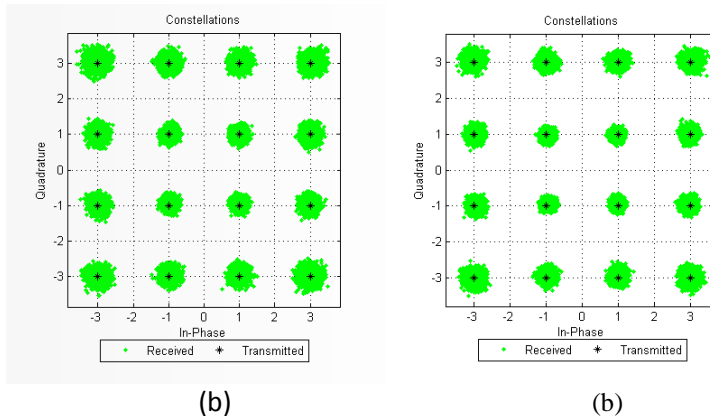


**Gambar 4. 14** Hasil Konstelasi 16-QAM pada daya pancar : (a) -31 dBm (b)-19 dBm dan (c) -13 dBm

Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa titik konstelasi sudah memiliki penyebaran yang hampir sama jika dibandingkan dengan

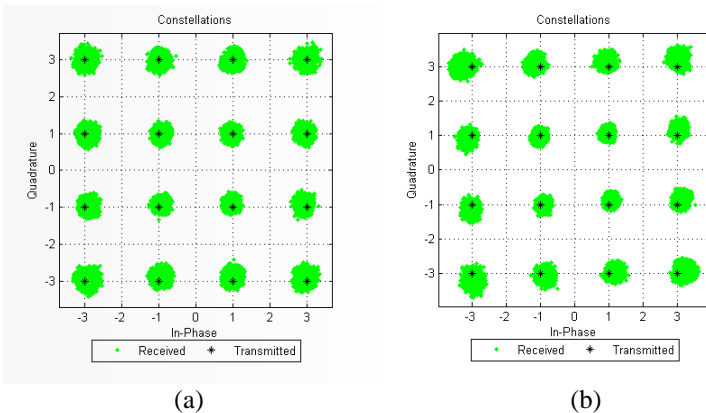


penyebaran symbol pada daya pancar -13 dBm pada keadaan tanpa variasi amplitudo pilot. Akan tetapi jika kita besarkan daya pancarnya menjadi -7dBm, maka hasil konstelasi masih menunjukkan penyebaran symbol yang tidak merata. Terlihat bahwa titik konstelasi dengan amplitudo yang lebih besar dari 1 akan memiliki penyebaran symbol yang lebih besar.



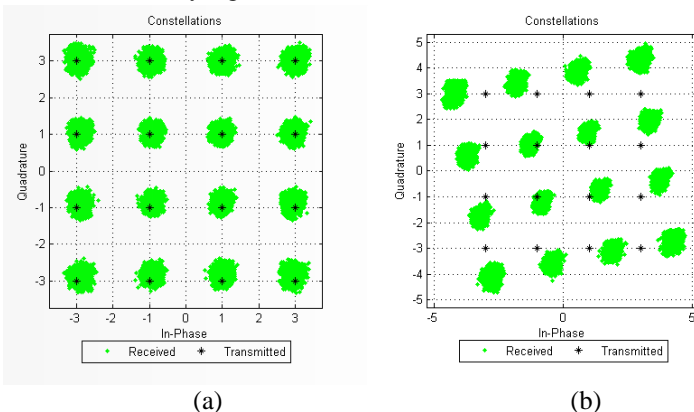
**Gambar 4. 15** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 4 dengan daya pancar : (a) -13 dBm dan (b) -7 dBm

Sedangkan untuk Gambar 4.11 dengan amplitudo pilot = 6, terlihat bahwa penyebaran symbol pada setiap titik konstelasi juga hampir sama akan tetapi masih lebih baik dari amplitudo pilot = 4 saat daya pancar -11.5 dBm. Pada modulasi 16-QAM memiliki nilai amplitudo tertinggi yaitu 3 sama seperti 8-QAM. Selanjutnya distorsi fasa juga terjadi pada nilai gain = 60, dalam hal ini daya -7dBm. Hasil konstelasi menunjukkan pergeseran fasa, sehingga titik konstelasi terlihat miring.



**Gambar 4. 16** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 6 dengan daya pancar : (a) -11.5 dBm dan (b) -7 dBm

Karena pada amplitudo pilot = 6 masih memiliki penyebaran symbol yang tidak merata, maka diperlukan untuk menaikkan amplitudonya lagi menjadi 10. Untuk konstelasi dengan amplitudo pilot = 10 pada Gambar 4.12, terlihat memiliki penyebaran symbol yang sama di setiap titik konstelasi. Pada amplitudo ini tidak terlihat perbedaan penyebaran titik konstelasi jika dibandingkan dengan amplitudo = 6. Tetapi, jika kita naikkan nilai gain maka juga akan terjadi distorsi fasa. Jika dibandingkan dengan penambahan pilot = 6, pergeseran konstelasi terlihat semakin besar. Sehingga terlihat jelas kemiringan dari bentuk konstelasi yang dihasilkan.

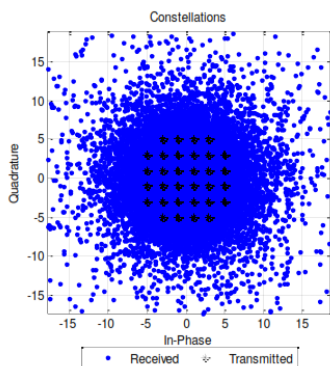


**Gambar 4. 17** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 10 dengan daya

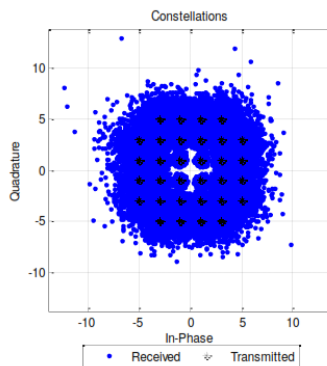
pancar : (a) -11.5 dBm dan (b) -7 dBm

#### 4.2.4. Hasil Konstelasi Modulasi 32-QAM

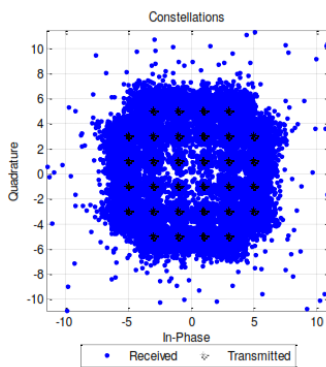
Hasil sinyal konstelasi dengan variasi daya pancar yang lebih tinggi juga menunjukkan bentuk konstelasi lebih baik, Hal tersebut ditunjukkan dengan semakin jelas terbentuknya titik konstelasi menjadi sejumlah level modulasinya. Pengaruh penggunaan beberapa variasi daya pancar terhadap konstelasi sinyal diterima akan ditunjukkan pada Gambar 4.13. Akan tetapi pada modulasi 32-QAM ini, bentuk konstelasi yang dihasilkan tidak dapat membentuk titik konstelasi sejumlah level modulasi meskipun dengan kenaikan daya pancar.



(a)



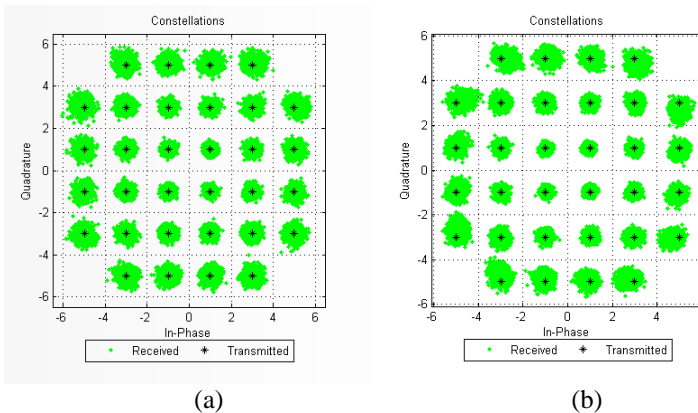
(b)



(c)

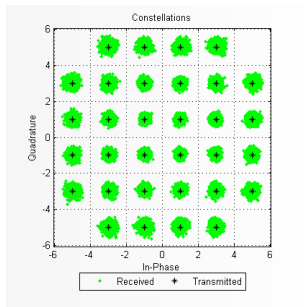
**Gambar 4. 18** Hasil Konstelasi 32-QAM pada daya pancar : (a) -31 dBm (b)-19 dBm dan (c) -13 dBm

Pada modulasi 32-QAM juga dilakukan variasi terhadap amplitude pilot dengan nilai 4, 6 dan 10. Pada Gambar 4.14 terlihat bahwa titik konstelasi masih memiliki penyebaran yang tidak sama saat daya -14dBm. Akan tetapi, terlihat bahwa pada daya tersebut sudah terlihat bentuk konstelasi mendekati konstelasi pengirim. Jika kita besarkan daya pancarnya menjadi -7dBm, distorsi fasa juga terjadi pada nilai gain = 60. Hasil konstelasi menunjukkan pergeseran fasa, sehingga titik konstelasi terlihat sedikit elips.

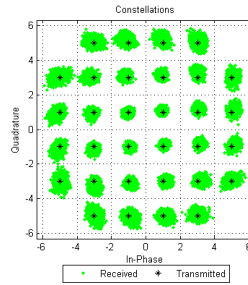


**Gambar 4. 19** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 4 dengan daya pancar : (a) -14.5 dBm dan (b) -7 dBm

Sedangkan untuk Gambar 4.15 dengan amplitude pilot = 6, terlihat bahwa penyebaran symbol pada setiap titik konstelasi juga masih tidak sama akan tetapi masih lebih baik dari amplitude pilot = 4 pada daya -14.5. Pada modulasi 32 - QAM memiliki nilai amplitude tertinggi yaitu 5. Jika kita besarkan daya pancarnya menjadi -7dBm, distorsi fasa juga terjadi pada nilai gain = 60. Hasil konstelasi menunjukkan pergeseran fasa, sehingga titik konstelasi terlihat berputar dan elips



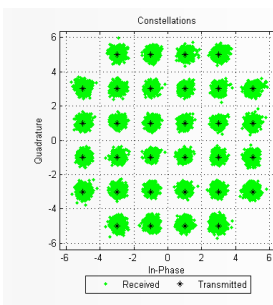
(a)



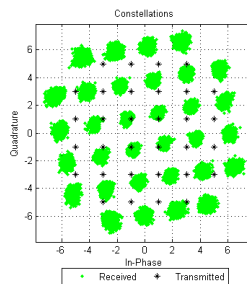
(b)

**Gambar 4. 20** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 6 dengan daya pancar : (a) -14.5 dBm dan (b) -7 dBm

Karena pada amplitudo pilot = 6 masih memiliki penyebaran symbol yang tidak merata, maka diperlukan untuk menaikkan amplitudonya lagi menjadi 10. Untuk konstelasi dengan amplitudo pilot = 10 pada Gambar 4.16, terlihat memiliki penyebaran symbol yang sama di setiap titik konstelasi saat nilai daya -14.5dBm. Pada amplitudo ini tidak terlihat perbedaan penyebaran titik konstelasi jika dibandingkan dengan amplitudo = 6 pada daya yang sama. Tetapi, jika kita naikan nilai gain maka juga akan terjadi distorsi fasa. Jika dibandingkan dengan penambahan pilot = 6, pergeseran konstelasi terlihat semakin besar. Sehingga terlihat jelas kemiringan dari bentuk konstelasi yang dihasilkan.



(a)

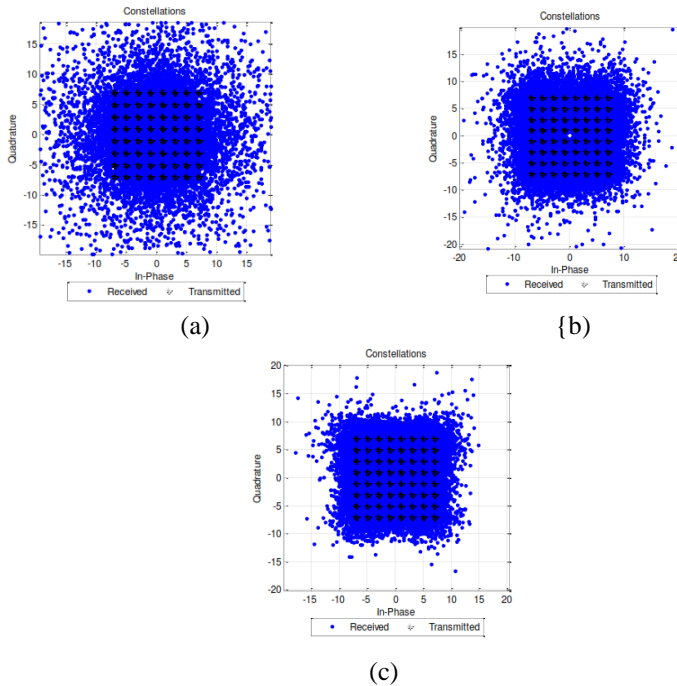


(b)

**Gambar 4. 21** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 10 dengan daya pancar : (a) -14.5 dBm dan (b) -7 dBm

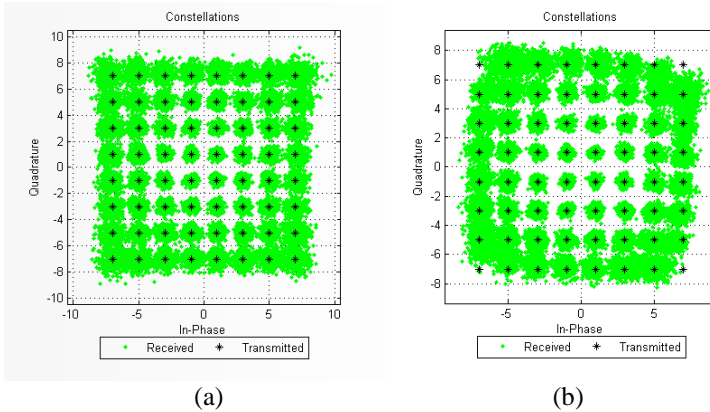
#### 4.2.5. Hasil Konstelasi Modulasi 64-QAM

Hasil sinyal konstelasi dengan variasi daya pancar yang lebih tinggi tampak lebih baik, Hal tersebut ditunjukkan dengan semakin jelas terbentuknya titik konstelasi menjadi sejumlah level modulasinya. Pengaruh penggunaan beberapa variasi daya pancar terhadap konstelasi sinyal diterima akan ditunjukkan pada Gambar 4.17. Akan tetapi pada modulasi 64-QAM ini, bentuk konstelasi yang dihasilkan tidak dapat membentuk titik konstelasi sejumlah level modulasi meskipun dengan kenaikan daya pancar.



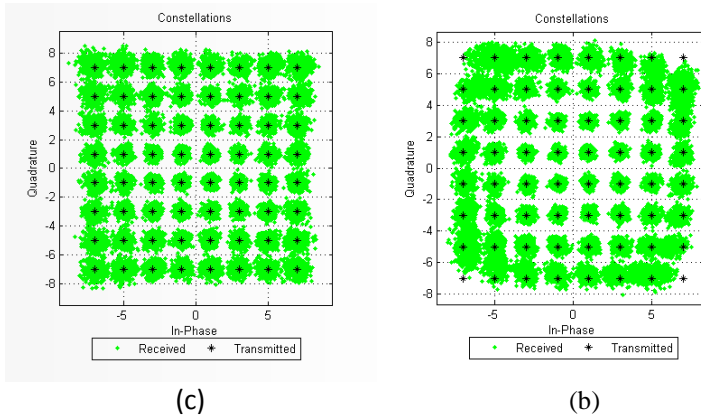
**Gambar 4. 22** Hasil Konstelasi 64-QAM pada daya pancar : (a) -31 dBm (b) -19 dBm dan (c) -13 dBm

Pada modulasi 64-QAM juga dilakukan variasi terhadap amplitudo pilot dengan nilai 4, 6 dan 10. Pada Gambar 4.18 terlihat bahwa titik konstelasi masih memiliki penyebaran yang tidak sama saat daya -14.5 dBm. Akan tetapi, terlihat bahwa pada daya tersebut sudah terlihat bentuk konstelasi mendekati konstelasi pengirim. Jika kita besarkan daya pancarnya menjadi -7dBm, distorsi fasa juga terjadi pada nilai gain = 60. Hasil konstelasi menunjukkan pergeseran fasa, sehingga titik konstelasi terlihat miring.



**Gambar 4. 23** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 4 dengan daya pancar : (a) -14.5 dBm dan (b) -7 dBm

Sedangkan untuk Gambar 4.19 dengan amplitudo pilot = 6, terlihat bahwa penyebaran symbol pada setiap titik konstelasi juga masih tidak sama akan tetapi masih lebih baik dari amplitudo pilot = 4 pada daya pancar sama Pada modulasi 64 - QAM memiliki nilai amplitudo tertinggi yaitu 7. Jika kita besarkan daya pancarnya menjadi -7dBm, distorsi fasa juga terjadi pada nilai gain = 60. Hasil konstelasi menunjukkan pergeseran fasa, sehingga titik konstelasi terlihat miring.

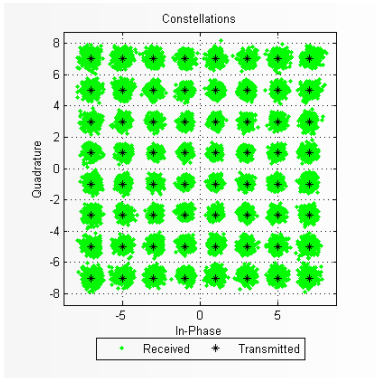


**Gambar 4. 24** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot = 6 dengan daya pancar : (a) -14.5 dBm dan (b) -7 dBm

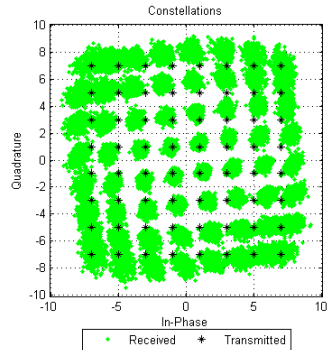
Karena pada amplitudo pilot = 6 masih memiliki penyebaran symbol yang tidak merata, maka diperlukan untuk menaikkan amplitudonya lagi menjadi 10. Untuk konstelasi dengan amplitudo pilot = 10 pada Gambar 4.16, terlihat memiliki penyebaran symbol yang hampir sama di setiap titik konstelasi saat nilai daya -13 dBm. Pada amplitudo ini tidak terlihat perbedaan penyebaran titik konstelasi jika dibandingkan dengan amplitudo = 6 pada daya yang sama. Tetapi, jika kita naikan nilai gain maka juga akan terjadi distorsi fasa. Jika dibandingkan dengan penambahan pilot = 6, pergeseran konstelasi terlihat semakin besar. Sehingga terlihat jelas kemiringan dari bentuk konstelasi yang dihasilkan.

Karena pada amplitudo pilot = 10 masih memiliki penyebaran symbol yang tidak merata, maka diperlukan untuk menaikkan amplitudonya lagi menjadi 20. Untuk konstelasi dengan amplitudo pilot = 20, terlihat memiliki penyebaran symbol yang sama di setiap titik konstelasi. Jika dibandingkan dengan penambahan pilot = 6, pergeseran konstelasi terlihat semakin besar. Sehingga terlihat jelas kemiringan dari bentuk konstelasi yang dihasilkan.



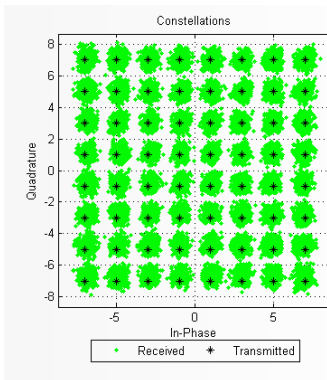


(a)

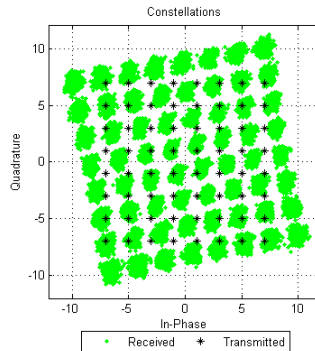


(b)

**Gambar 4. 25** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot =10 dengan daya pancar : (a) -13 dBm dan (b) -7 dBm



(a)



(b)

**Gambar 4. 26** Hasil Konstelasi saat amplitudo pilot =20 dengan daya pancar : (a) -13 dBm dan (b) -7 dBm

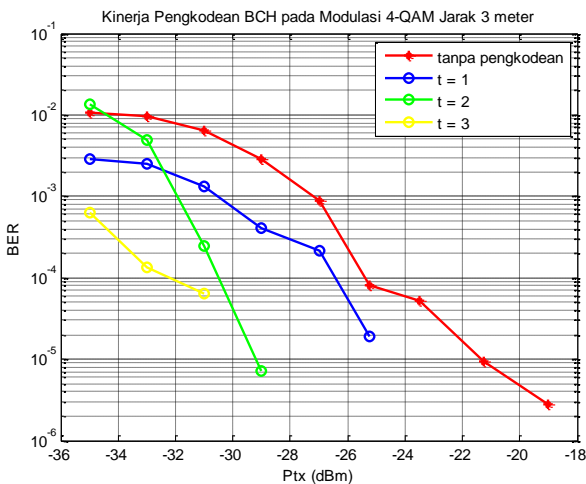
#### 4.3. Kinerja Sistem menggunakan Pengkodean BCH dan Tanpa Pengkodean terhadap Gain pada Pemancar

Pengukuran *indoor* dengan pengkodean BCH dilakukan dengan mengubah jarak antar *node* pengirim dan penerima pada jarak 3 meter dan 6 meter. Jumlah bit yang dikirim adalah 84000 bit. Nilai  $Tx\_BB =$

1,  $T_{x\_Rf} = 0$  sampai 60 dengan step 4,  $R_{x\_BB} = 1$ , dan  $R_{x\_Rf} = 1$ .

#### 4.3.1. Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 4-QAM

Pada tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran kode BCH dengan modulasi 4-QAM. Dari data tersebut, dapat kita lihat bahwa nilai BER = 0 terjadi saat daya pancar kode BCH (7,4), BCH (15,7), BCH (31,16) secara berurutan yaitu -25,25 dBm, -27 dBm dan -29 dBm. Terlihat bahwa terjadi penurunan nilai BER dari setiap nilai kombinasi tersebut seiring dengan kenaikan dari kemampuan tingkat koreksi. Sehingga terlihat perbaikan data yang dilakukan oleh masing – masing tingkat pengkoreksi tersebut.



**Gambar 4. 27** Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 4-QAM pada jarak 3 meter

Dengan menggunakan BCH (31,16) yang memiliki kemampuan koreksi 3 error, maka pada pengukuran jarak 3 meter ini sudah mampu memberikan nilai BER = 0 saat nilai daya pancar -29 dBm. Sedangkan pada level daya pan.,//car yang sama, BCH (7,4) dan BCH (15,7) secara berurutan menghasilkan BER = 0.0004048 dan BER = 7.14E-06 dan untuk tanpa pengkodean memiliki nilai BER = 0.0028405.

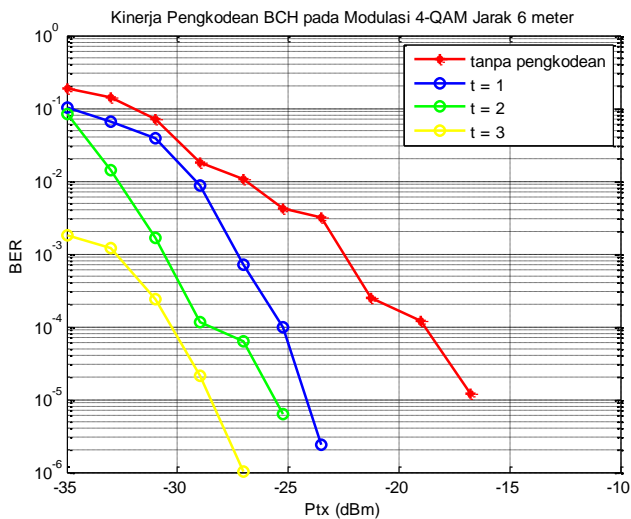
**Tabel 4. 1** Data Hasil pengukuran 4-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter

Modulasi 4-QAM				
Ptx (dBm)	Tanpa	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-35	0.010831	0.0028738	0.0132833	0.00063809
-33	0.0096119	0.002519	0.0048452	0.00013571
-31	0.0064857	0.0013048	0.0002476	6.38095E-05
-29	0.0028405	0.0004048	7.14E-06	0
-27	0.0008833	0.0002167	0	0
-25.25	8.19E-05	1.90E-05	0	0
-23.5	5.19E-05	0	0	0
-21.25	9.52E-06	0	0	0
-19	2.76E-06	0	0	0
-16.75	0	0	0	0

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 4.2, terlihat penurunan nilai BER jika dibandingkan dengan jarak 3 meter. Penambahan nilai BER terjadi karena penambahan jarak antara pemancar dan penerima. Pada jarak 6 meter, nilai BER = 0 terjadi saat daya pancar kode BCH (7,4), BCH (15,7), BCH (31,16) secara berurutan yaitu -21,25 dBm, -23,5 dBm, -25,25 dBm. Hasil tersebut masih menunjukkan perbaikan nilai BER yang dilakukan oleh pengkodean BCH jika dibandingkan dengan hasil tanpa pengkodean. Dapat dilihat pada grafik BER Gambar 4.4 bahwa perbaikan terjadi saat kenaikan dari nilai pengkoreksi. Terlihat bahwa  $t = 1$  memiliki nilai BER yang lebih besar daripada  $t = 2$  dan  $t = 3$  serta  $t = 2$  memiliki nilai yang lebih besar daripada  $t = 3$ , misalnya pada saat daya pancar -29 dBm, secara berurutan 0.00875, 0.000113095, 2.14E-05.

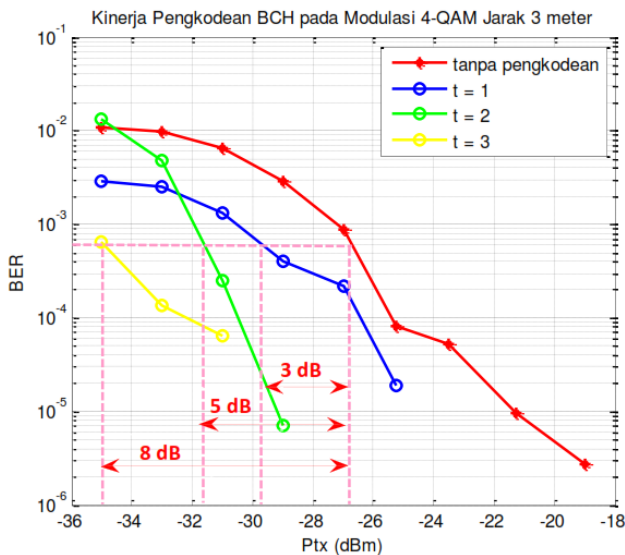
**Tabel 4. 2** Data Hasil pengukuran 4-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter

Modulasi 4-QAM				
Ptx (dBm)	Tanpa Pengkodean	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-35	0.1892043	0.1002262	0.0841666	0.001785714
-33	0.1426989	0.0656989	0.0140714	0.001202381
-31	0.0721667	0.0390714	1.69E-03	0.000238095
-29	0.01825	0.00875	0.0001130	2.14E-05
-27	0.0106882	0.0007143	6.19048E-	1.01E-06
-25.25	4.23E-03	1.00E-04	6.19048E-	0
-23.5	3.10E-03	2.38E-06	0	0
-21.25	2.46E-04	0	0	0
-19	1.19E-04	0	0	0
-16.75	1.19E-05	0	0	0
-14.5	0	0	0	0



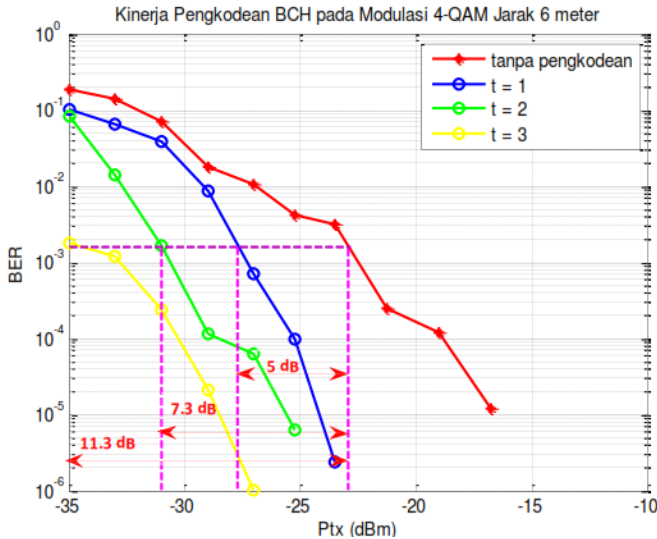
**Gambar 4. 28** Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 4-QAM pada jarak 6 meter

Pada saat nilai BER =  $10^{-3}$ , dapat kita lihat gain coding dari ketiga nilai kombinasi seperti pada Gambar 4.5. Gain coding untuk BCH (7,4) yaitu sebesar 3 dB, BCH (15,7) sebesar 5 dB dan BCH (31,16) sebesar 8 dB. Dari hasil tersebut juga terlihat semakin besar nilai pengkoreksi, maka akan semakin meminimalkan daya pancar yang dibutuhkan.



**Gambar 4. 29** Gain Coding Pengkodean BCH terhadap Ptx dengan modulasi 4-QAM pada jarak 3 meter

Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat juga nilai gain coding dari pengkodean BCH saat nilai BER =  $10^{-3}$ . Untuk t = 1 terlihat gain coding sebesar 5 dB, t = 2 sebesar 7,3 dB dan t = 3 sebesar 11,3 dB. Hasil ini juga menunjukkan bahwa semakin besar nilai pengkoreksi, maka akan semakin sedikit nilai daya pancar yang dibutuhkan.



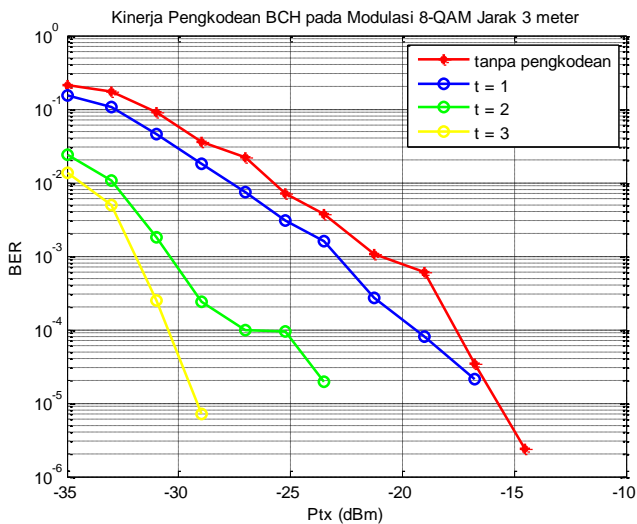
**Gambar 4. 30** Gain Coding Pengkodean BCH terhadap Ptx dengan modulasi 4-QAM pada jarak 6 meter

#### 4.3.2. Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 8-QAM

Pada modulasi 8-QAM, terlihat nilai BER yang didapat lebih besar dari modulasi 4-QAM. Hal tersebut ditunjukkan dengan besarnya daya pancar yang dibutuhkan untuk mencapai nilai BER = 0 pada saat tanpa pengkodean yaitu -14,5 dBm berjarak 3 meter dibandingkan dengan saat modulasi 4-QAM tanpa pengkodean dengan daya pancar sebesar -19 dBm. Sedangkan ketika dengan pengkodean modulasi 8-QAM pada BER dan jarak yang sama, BCH (7,4) membutuhkan daya pancar sebesar -14,5 dBm, BCH (15,7) sebesar -21,25 dBm, BCH (31,16) sebesar -27 dBm. Perbaikan dari nilai BER dapat dilihat misalnya pada daya pancar sebesar -29 dBm, BCH (7,4) mempunyai BER sebesar 0.0181833, BCH (15,7) sebesar 1.00E-04, BCH (31,16) sebesar 7.14E-06 jika dibandingkan dengan tanpa pengkodean sebesar 0.0364048.

**Tabel 4. 3** Data Hasil pengukuran 8-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter

Ptx (dBm)	Tanpa Pengkodean	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-35	0.2074286	0.0235095	0.1527333	0.01328333
-33	0.1719762	0.1071167	0.0105214	0.00484524
-31	0.0887976	0.0457262	0.0018024	0.00024762
-29	0.0364048	0.0181833	1.00E-04	7.14E-06
-27	0.0220238	0.0075262	2.38E-04	0
-25.25	6.99E-03	3.05E-03	9.52E-05	0
-23.5	3.69E-03	0.001619	1.93E-05	0
-21.25	0.001072	0.0002738	0	0
-19	9.92E-04	7.14E-05	0	0
-16.75	3.49E-05	3.10E-05	0	0
-14.5	2.38E-06	0	0	0
-13	0	0	0	0



**Gambar 4. 31** Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 8-QAM pada jarak 3 meter

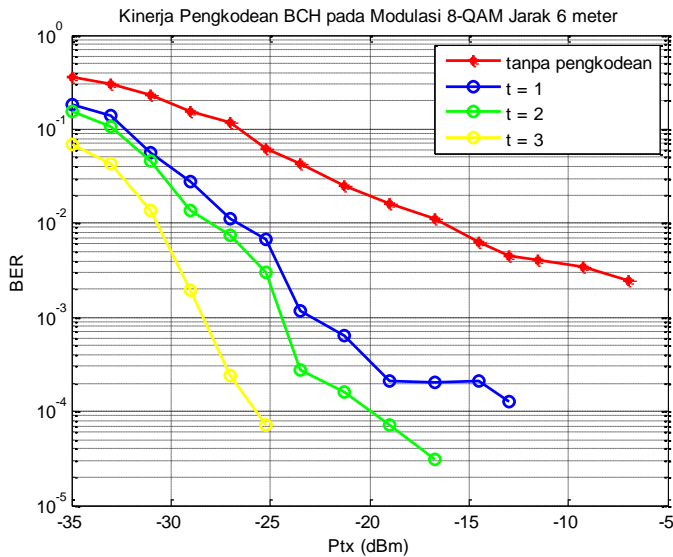
Saat terjadi penambahan jarak yaitu 6 meter, maka terjadi perubahan nilai BER yang semakin besar seperti pada daya pancar -33 dBm dari nilai BER secara berurutan pada jarak 3 meter dan 6 meter pada BCH (7,4) yaitu 0.1389762 dan 0.1071167. Hal tersebut diakibatkan karena letak penerima yang semakin menjauhi pemancar sehingga membuat data terkena noise yang timbul pada kanal wireless tersebut, sehingga akan semakin menambah jumlah bit yang error.

**Tabel 4. 4** Data Hasil pengukuran 8-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter

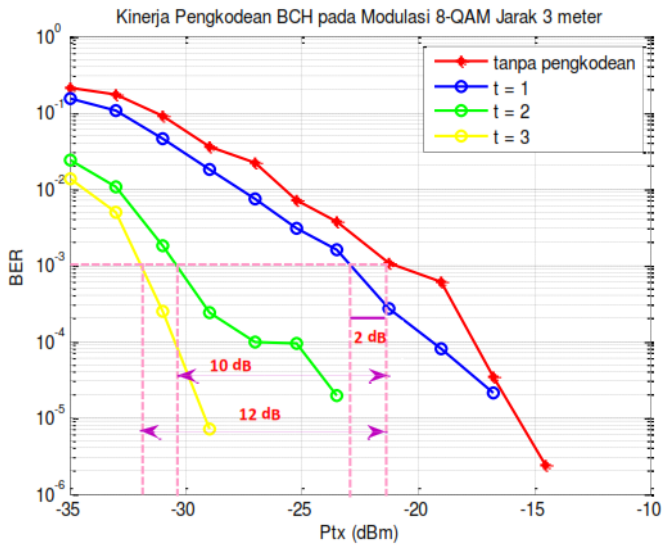
Modulasi 8-QAM				
Gain (dBm)	Tanpa Pengkodean	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-35	0.3618857	0.1804286	0.1527333	0.06775
-33	0.3066357	0.1389762	0.1071167	0.04289286
-31	0.2326524	0.0565357	0.0457262	0.01366667
-29	0.151881	2.82E-02	0.013881	1.95E-03
-27	0.1160571	0.0112976	7.53E-03	2.38E-04
-25.25	6.22E-02	0.0066918	3.05E-03	7.14E-05
-23.5	4.36E-02	0.0011529	0.0002738	0
-21.25	2.53E-02	0.0006366	0.0001619	0
-19	1.63E-02	0.000212	7.14E-05	0
-16.75	0.011281	0.0002039	3.10E-05	0
-14.5	0.0063857	2.11E-04	0	0
-13	0.0044762	1.29E-04	0	0
-11.5	0.0040476	0	0	0
-9.25	0.0034333	0	0	0
-7	0.0024405	0	0	0

Dari gambar 4.9 dapat kita ketahui nilai gain coding pada BER  $10^3$  antara BCH (7,4), BCH (15,7) dan BCH (31,16) terhadap hasil tanpa pengkodean. Grafik tersebut menunjukkan BCH (7,4) memiliki gain coding sebesar 2 dB yaitu dengan kemampuan mengkoreksi 1 error, kemudian BCH (15,7) sebesar 10 dB dengan kemampuan mengkoreksi 2 error dan BCH (31,16) sebesar 12 dB dengan kemampuan mengkoreksi 3 error.





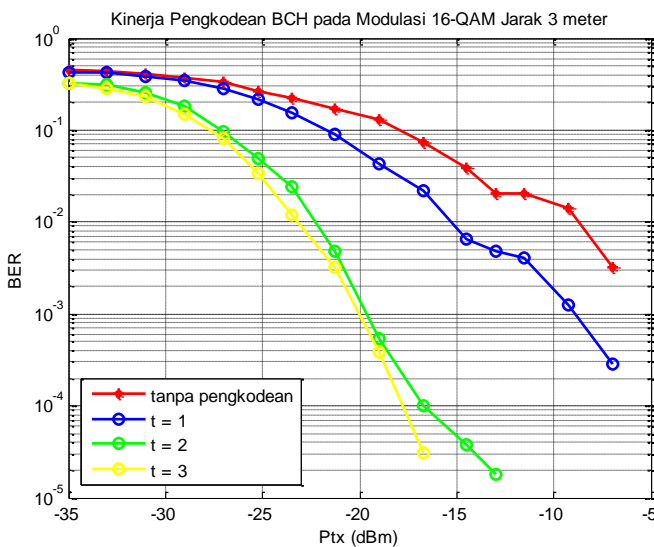
**Gambar 4. 32** Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 8-QAM pada jarak 6 meter



**Gambar 4. 33** Gain Coding Pengkodean BCH terhadap Ptx dengan modulasi 8-QAM pada jarak 3 meter

### 4.3.3. Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 16-QAM

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada jarak 3 meter, terlihat bahwa kinerja modulasi 16-QAM tanpa menggunakan pengkodean menunjukkan penurunan. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai BER sebesar 0.4576071 yang berarti terdapat hampir separuh data yang error. Kemudian setelah ditambahkan kode BCH (7,4) dengan kemampuan mengoreksi 1 error, nilai BER berubah menjadi 0.4188119 pada daya pancar yang sama yaitu -35 dBm. Untuk penambahan kode BCH (15,7) didapatkan nilai BER = 0.3280242 dan pada BCH (31,16) didapatkan BER = 0.31905952.



**Gambar 4. 34** Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 16-QAM pada jarak 3 meter

Jika kita amati data pada Tabel 4.5, kode BCH (7,4) tidak dapat mencapai nilai BER = 0 sampai pada daya pancar terakhir. Sedangkan untuk BCH (15,7) dan BCH (31,16) mampu mencapai BER = 0 saat daya pancarnya secara berurutan -11,5 dBm dan -14,5 dBm. Jika kita lihat pada grafik BER pada gambar 4.10, perbedaan kinerja

antara nilai kombinasi masih terlihat cukup jelas.

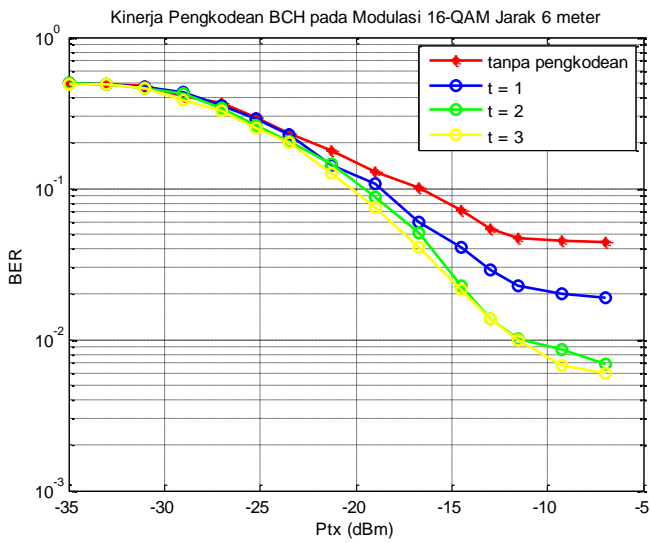
**Tabel 4. 5** Data Hasil pengukuran 16-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter

Modulasi 16-QAM				
Ptx (dBm)	Tanpa Pengkodean	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-35	0.4576071	0.4188119	0.3280242	0.31905952
-33	0.4325	0.4235	0.3102445	0.28663095
-31	0.4133095	0.3867024	0.2519783	0.22757143
-29	0.3752381	0.3445952	1.82E-01	0.14814286
-27	0.3342024	0.2796071	0.0972908	0.08161905
-25.25	2.69E-01	2.17E-01	0.0486643	0.034
-23.5	2.25E-01	0.1541667	0.0240801	0.01180952
-21.25	1.73E-01	0.0910119	0.0048095	0.00323841
-19	1.32E-01	0.0432619	0.0005476	0.00039063
-16.75	0.073619	0.0219524	0.0001008	3.0952E-05
-14.5	0.0390714	0.0065476	3.78E-05	0
-13	0.0202024	0.0048571	1.78E-05	0
-11.5	0.0205476	0.0040952	0	0
-9.25	0.0140119	0.00125	0	0
-7	0.0032619	0.0002857	0	0

Jika dibandingkan dengan hasil pada jarak 3 meter, kinerja dari kode BCH sudah tidak bisa mencapai nilai BER = 0 pada semua variasi daya dan ukuran panjang blok. Pada saat daya pancar bernilai -35 dBm, hampir semua nilai BER mencapai nilai 0.5 serta perubahan nilai BER antara nilai kombinasi hanya sedikit, misalnya untuk BCH (15,7) sebesar 0.493181 dan BCH (31,16) sebesar 0.4896673.

Berdasarkan grafik BER pada Gambar 4.11, perbedaan kinerja yang cukup jauh terlihat saat daya pancar bernilai -16,75 dBm dengan nilai BER secara berurutan dari BCH (7,4), BCH (15,7) dan BCH (31,16) yaitu 0.060219, 0.0510383 dan 0.0408071. Untuk BCH (15,7) dan BCH

(31,16), pada modulasi 16-QAM ini menunjukkan nilai BER yang saling berdekatan pada semua variasi daya pancar, misalnya pada daya pancar -27 dBm, BCH (15,7) memiliki BER = 0.2614738 dan BCH (31,16) sebesar 0.3227419.



**Gambar 4. 35** Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 16-QAM pada jarak 6 meter

**Tabel 4. 6** Data Hasil pengukuran 16-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter

Modulasi 16-QAM				
Ptx (dBm)	Tanpa Pengkodean	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-35	0.4576071	0.4188119	0.3280242	0.31905952
-33	0.4325	0.4235	0.3102445	0.28663095
-31	0.4133095	0.3867024	0.2519783	0.22757143
-29	0.3752381	0.3445952	1.82E-01	0.14814286
-27	0.3342024	0.2796071	0.0972908	0.08161905
-25.25	2.69E-01	2.17E-01	0.0486643	0.034

Modulasi 16-QAM				
Ptx (dBm)	Tanpa Pengkodean	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-23.5	2.25E-01	0.1541667	0.0240801	0.01180952
-21.25	1.73E-01	0.0910119	0.0048095	0.00323841
-19	1.32E-01	0.0432619	0.0005476	0.00039063
-16.75	0.073619	0.0219524	0.0001008	3.0952E-05
-14.5	0.0390714	0.0065476	3.78E-05	0
-13	0.0202024	0.0048571	1.78E-05	0
-11.5	0.0205476	0.0040952	0	0
-9.25	0.0140119	0.00125	0	0
-7	0.0032619	0.0002857	0	0

#### 4.3.4. Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 32-QAM

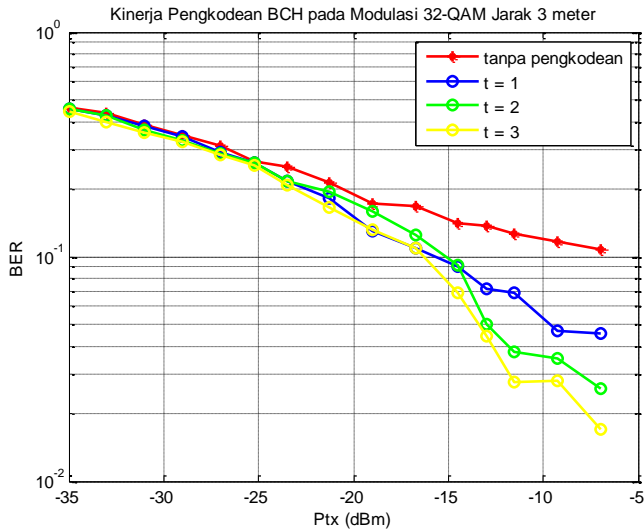
Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 terlihat bahwa nilai BER tidak mencapai nilai  $10^{-2}$ . Hal tersebut menunjukkan kinerja dari pengkodean BCH pada modulasi 32-QAM tidak bisa sebaik modulasi sebelumnya. Jika kita amati Tabel 4.7, perubahan nilai BER antara nilai kombinasi sudah semakin berdekatan. Hal tersebut ditunjukkan pada daya pancar sebesar -25,25 dBm, yaitu secara berurutan dari BCH (7,4), BCH (15,7) dan BCH (31,16) sebesar 0.260469, 0.2612312 dan 2.56E-01.

Banyaknya data yang error disebabkan karena semakin besar level modulasi yang juga terdapat noise pada kanal. Semakin tinggi level modulasi, maka akan semakin rentan terkena noise karena akan membuat semakin banyaknya titik konstelasi sehingga terjadi kesalahan saat pengambilan daerah keputusan untuk sejumlah data. Kode BCH sudah tidak mampu untuk memenuhi standar komunikasi suara  $10^{-3}$ .

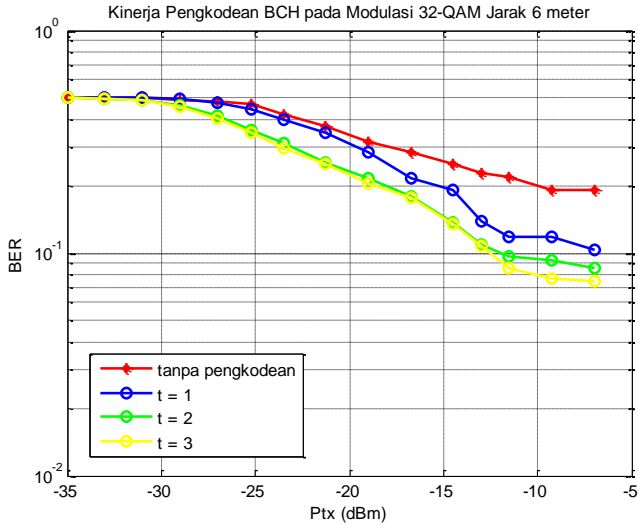
**Tabel 4. 7** Data Hasil pengukuran 32-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter

Modulasi 32-QAM				
Ptx (dBm)	Tanpa	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-35	0.461769	0.4548595	0.4530081	0.43996429
-33	0.43865	0.4267548	0.4267548	0.39793095
-31	0.385407	0.3840952	0.3690027	0.35487381
-29	0.346547	3.41E-01	0.3280833	0.32507857
-27	0.313876	0.2927286	0.289586	0.2844619
-25.25	2.67E-01	0.260469	0.2612312	2.56E-01
-23.5	2.50E-01	0.216231	0.216871	0.2095881
-21.25	2.13E-01	0.1818905	0.1952124	0.16653571
-19	1.72E-01	0.1303214	0.1596774	0.1318119
-16.75	0.1682	0.1097381	0.1255887	0.10966429
-14.5	0.140447	0.090769	0.0912024	0.0692619
-13	0.127240	0.0722976	0.0500833	0.04422619
-11.5	0.137252	0.0892143	0.0374881	0.0275
-9.25	0.116773	0.0467262	0.0453452	0.028
-7	0.108154	0.0452381	0.0259048	0.01702381

Pada grafik BER Gambar 4.13, nilai BER juga tidak mencapai nilai  $10^{-3}$  untuk semua variasi daya pancar dan nilai kombinasi. Nilai BER terkecil yang didapatkan pada modulasi ini adalah 0.0747419 saat daya pancar bernilai -7 dBm dan pada pengkodean BCH (31,16). Sehingga kode BCH pada modulasi ini sudah tidak dapat mengatasi error karena mungkin error yang terjadi memiliki jumlah lebih dari 3 error pada setiap  $k$ . Sehingga apabila error tersebut dikoreksi, memungkinkan menambah kesalahan pada pembacaan data dan akibatnya data yang error akan semakin besar.



**Gambar 4. 36** Grafik BER Kode BCH terhadap  $P_{tx}$  dengan modulasi 32-QAM pada jarak 3 meter



**Gambar 4. 37** Grafik BER Kode BCH terhadap  $P_{tx}$  dengan modulasi 32-QAM pada jarak 6 meter

**Tabel 4. 8** Data Hasil pengukuran 32-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter

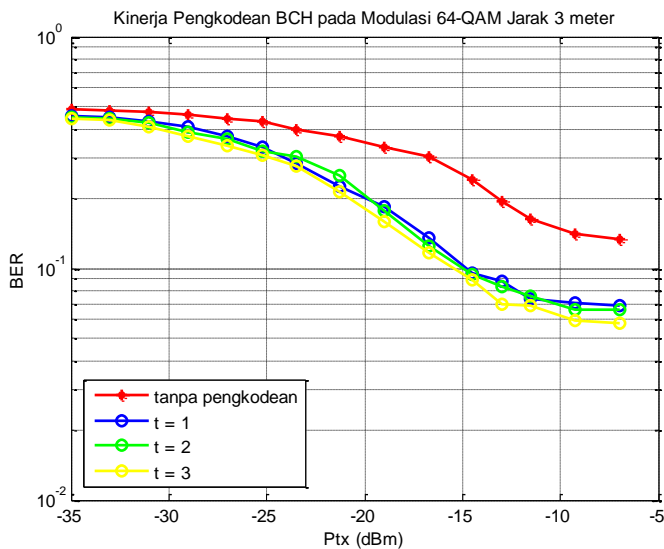
Modulasi 32-QAM				
Ptx (dBm)	Tanpa	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-35	0.500609	0.499631	0.4965714	0.4970242
-33	0.4996	0.4983452	0.4916524	0.4914597
-31	0.497045	0.4979738	0.4854857	0.4860296
-29	0.484697	0.4915667	4.61E-01	0.4572151
-27	0.480128	0.4715714	0.412481	0.4050296
-25.25	4.66E-01	4.40E-01	0.3569286	0.3495806
-23.5	4.19E-01	0.3961476	0.3120619	0.2969059
-21.25	3.72E-01	0.3481595	0.2560952	0.2521129
-19	3.18E-01	0.2856976	0.2170726	0.2061762
-16.75	0.285485	0.2183238	0.180414	0.1768619
-14.5	0.250811	0.192669	0.1365333	0.1361398
-13	0.228211	0.1390167	0.1088214	0.1082634
-11.5	0.220969	0.1185667	0.0961214	0.0850887
-9.25	0.192731	0.1179667	0.0924619	0.0765081
-7	0.191483	0.1039548	0.08575	0.0747419

#### 4.3.5. Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 64-QAM

Hasil yang didapatkan berdasarkan Tabel 4.9, menunjukkan bahwa kode BCH sudah tidak mampu lagi untuk mengatasi error pada modulasi 64-QAM. Hal tersebut dapat kita lihat dari Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 yang menunjukkan grafik BER jarak 3 meter dan 6 meter. Perbedaan kinerja sudah tidak terlihat seperti pada modulasi sebelumnya. Untuk nilai BER pada jarak 3 meter, sudah tidak bisa mencapai nilai  $10^{-2}$  sehingga nilai terkecil yang mampu didapatkan adalah 0.05800238. Sedangkan untuk jarak 6 meter, nilai BER tidak mampu mencapai  $10^{-1}$  sehingga nilai BER terkecil yang didapatkan saat



BCH (31,16) adalah 0.1694919.

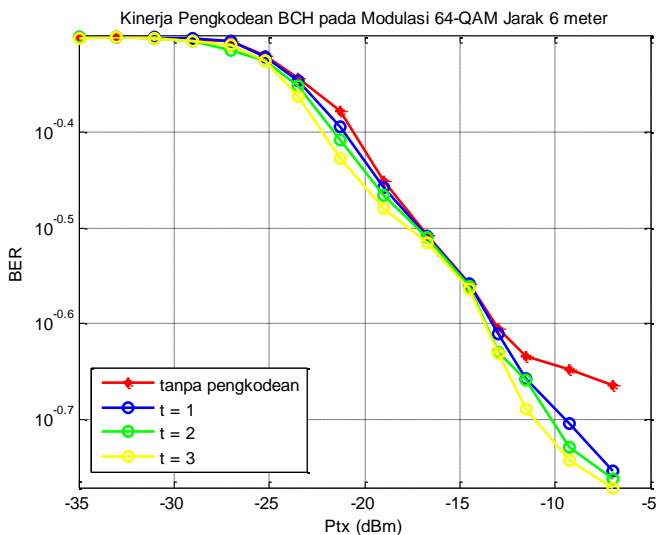


**Gambar 4. 38** Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 64-QAM pada jarak 3 meter

**Tabel 4. 9** Data Hasil pengukuran 64-QAM dengan Kode BCH pada jarak 3 meter

Modulasi 64-QAM				
Ptx (dBm)	Tanpa Pengkodean	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-35	0.4839762	0.4573095	0.4507619	0.44310714
-33	0.4812619	0.4491786	0.4409881	0.43703571
-31	0.47375	0.4286429	0.4229405	0.40741667
-29	0.4629524	0.4103571	3.85E-01	0.37384524
-27	0.4432143	0.3725952	0.3626429	0.33880952
-25.25	4.30E-01	3.34E-01	0.3216667	0.30804762
-23.5	3.98E-01	0.28425	0.3042738	0.27584524
-21.25	3.71E-01	0.226631	0.2523929	0.21367857
-19	3.32E-01	0.1857262	0.1777143	0.15858333
-16.75	0.3030476	0.1358929	0.12525	0.11716667

Modulasi 64-QAM				
Ptx (dBm)	Tanpa Pengkodean	BCH(7,4)	BCH(15,7)	BCH(31,16)
-14.5	0.2418214	0.0959048	0.0939194	0.08902143
-13	0.1934881	0.0878548	0.0829762	0.07020699
-11.5	0.1639048	0.0736905	0.0761881	0.06898656
-9.25	0.1418452	0.0708376	0.0663048	0.05982619
-7	0.1330238	0.0686667	0.0659785	0.05800238



**Gambar 4. 39** Grafik BER Kode BCH terhadap Ptx dengan modulasi 64-QAM pada jarak 6 meter

**Tabel 4. 10** Data Hasil pengukuran 64-QAM dengan Kode BCH pada jarak 6 meter

#### 4.4. Kinerja Pengkodean BCH pada Modulasi M-QAM

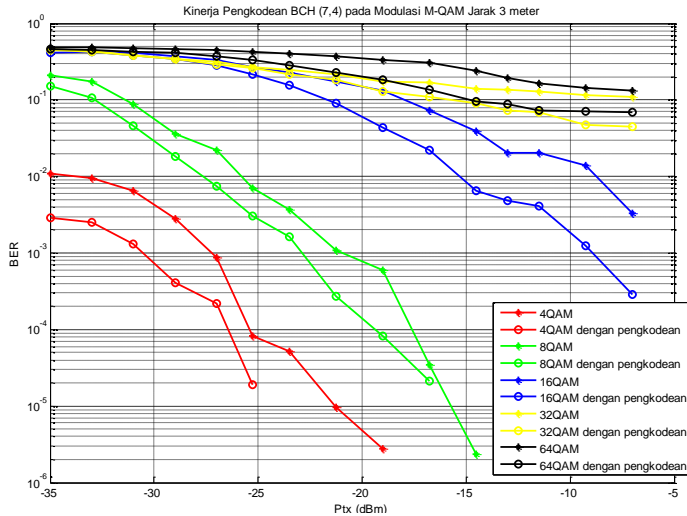
Selanjutnya, analisa yang dilakukan yaitu penggabungan dari seluruh modulasi pada nilai kombinasi yang sama. Terdapat tiga nilai kombinasi yang diamati yaitu BCH (7,4), BCH (15,7) dan BCH (31,16).

Masing – masing memiliki kemampuan pengkoreksi 1 error, 2 error dan 3 error.

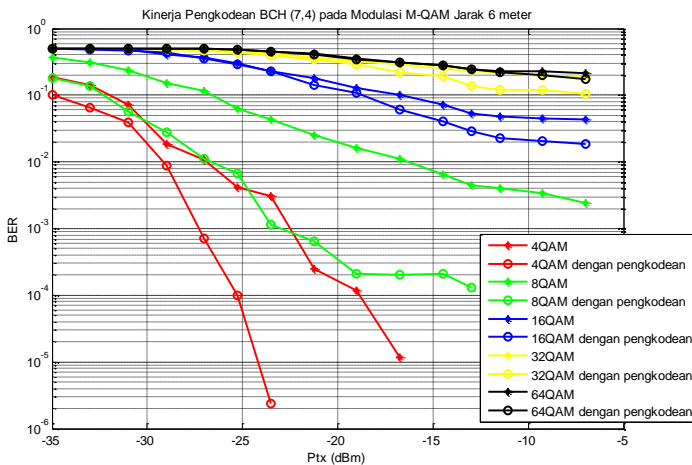
#### **4.4.1. Kinerja kode BCH (7,4) dengan perubahan modulasi QAM**

Dari hasil grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.16 dan Gambar 4.17, terlihat bahwa kinerja menggunakan kode BCH mengalami penurunan jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan pengkodean. Selain itu, penurunan nilai BER juga terjadi saat level modulasinya menurun dalam hal ini nilai BER modulasi 4-QAM paling kecil di antara modulasi lainnya. Sedangkan modulasi 64-QAM memiliki nilai BER paling besar.

Apabila kita amati pada Gambar 4.17, modulasi 64-QAM sudah tidak bisa diperbaiki kesalahannya oleh kode BCH (7,4). Sehingga bentuk dari grafik BER modulasi tersebut berhimpitan dengan grafik tanpa pengkodeannya. Selain itu, pada jarak 6 meter kinerja kode BCH pada semua level modulasi mengalami penurunan karena error yang terlalu banyak. Kemampuan koreksi dari ukuran blok ini adalah mengkoreksi 1 error. Sehingga apabila error yang terdeteksi lebih dari 1 error pada setiap 7 bit, maka error tersebut tidak dapat dikoreksi oleh ukuran blok ini.



**Gambar 4. 40** Kurva BER kinerja kode BCH (7,4) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m

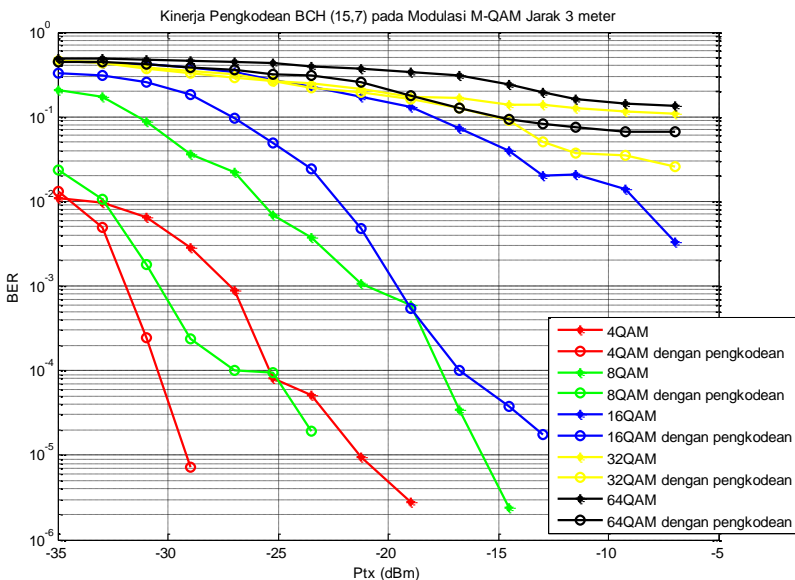


**Gambar 4. 41** Kurva BER kinerja kode BCH (7,4) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m

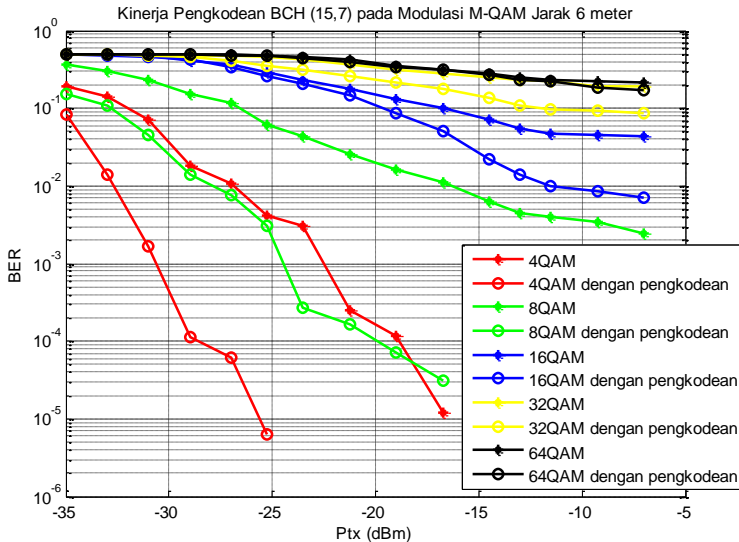
#### 4.4.2. Kinerja kode BCH (15,7) dengan perubahan modulasi QAM

Dari hasil grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.18 dan Gambar 4.19, terlihat bahwa kinerja menggunakan kode BCH mengalami penurunan jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan pengkodean. Selain itu, penurunan nilai BER juga terjadi saat level modulasinya menurun dalam hal ini nilai BER modulasi 4-QAM paling kecil di antara modulasi lainnya. Sedangkan modulasi 64-QAM memiliki nilai BER paling besar.

Apabila kita amati pada Gambar 4.17, modulasi 64-QAM sudah tidak bisa diperbaiki kesalahannya oleh kode BCH (15,7). Sehingga bentuk dari grafik BER modulasi tersebut berhimpitan dengan grafik tanpa pengkodeannya. Selain itu, pada jarak 6 meter kinerja kode BCH pada semua level modulasi mengalami penurunan karena error yang terlalu banyak. Kemampuan koreksi dari ukuran blok ini adalah mengoreksi 1 error. Sehingga apabila error yang terdeteksi lebih dari 2 error pada setiap 15 bit, maka error tersebut tidak dapat dikoreksi oleh ukuran blok ini.



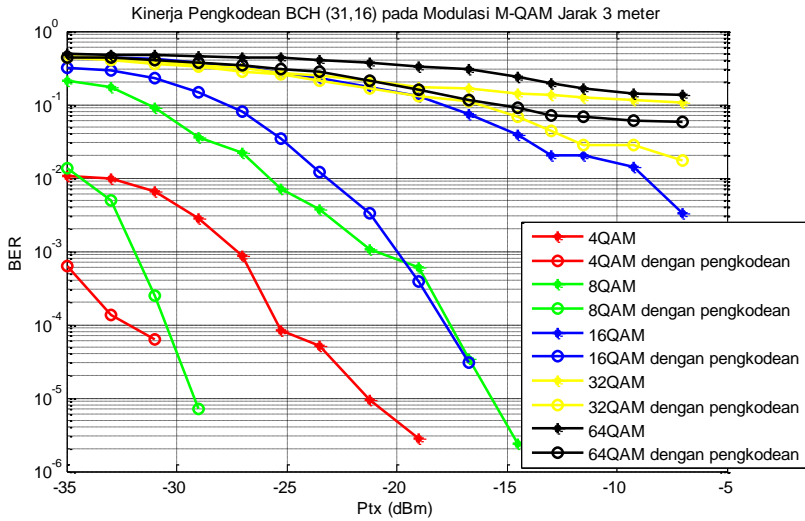
**Gambar 4. 42** Kurva BER kinerja kode BCH (15,7) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m



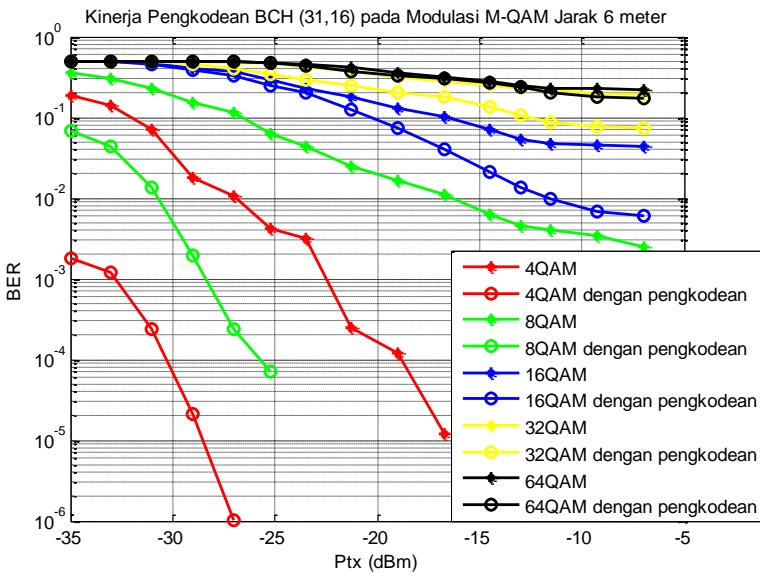
**Gambar 4. 43** Kurva BER kinerja kode BCH (15,7) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m

#### 4.3.1 Kinerja kode BCH (31,16) dengan perubahan modulasi QAM

Dari hasil grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.20 dan Gambar 4.21, terlihat bahwa kinerja menggunakan kode BCH mengalami penurunan jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan pengkodean. Selain itu, penurunan nilai BER juga terjadi saat level modulasinya menurun dalam hal ini nilai BER modulasi 4-QAM paling kecil di antara modulasi lainnya. Sedangkan modulasi 64-QAM memiliki nilai BER paling besar. Pada nilai kombinasi ini, perbedaan nilai BER menggunakan dan tanpa kode terlihat begitu besar terutama pada modulasi 4-QAM, 8-QAM.



**Gambar 4. 44** Kurva BER kinerja kode BCH (31,16) terhadap level daya pancar pada jarak 3 m



**Gambar 4. 45** Kurva BER kinerja kode BCH (31,16) terhadap level daya pancar pada jarak 6 m

Apabila kita amati pada Gambar 4.21, modulasi 64-QAM sudah tidak bisa diperbaiki kesalahannya oleh kode BCH (7,4). Sehingga bentuk dari grafik BER modulasi tersebut berhimpitan dengan grafik tanpa pengkodeannya. Selain itu, pada jarak 6 meter kinerja kode BCH pada semua level modulasi mengalami penurunan karena error yang terlalu banyak. Kemampuan koreksi dari ukuran blok ini adalah mengkoreksi 1 error. Sehingga apabila error yang terdeteksi lebih dari 1 error pada setiap 7 bit, maka error tersebut tidak dapat dikoreksi oleh ukuran blok ini.

#### **4.5. Kinerja Pengkodean BCH dan Tanpa Pengkodean terhadap Eb/No**

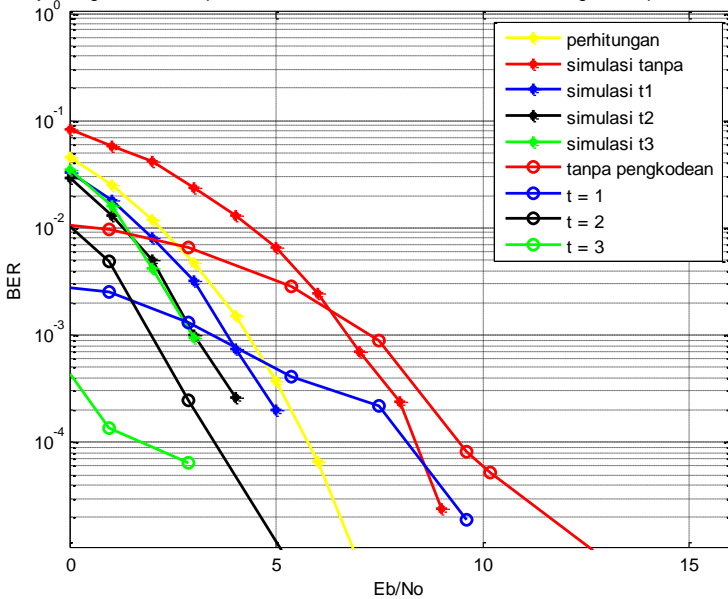
Secara umum analisa yang dilakukan tidak berbeda dengan analisa saat terhadap nilai variasi daya pancar. Analisa pada nilai Eb/No untuk melihat seberapa besar energy bit yang diterima jika dibandingkan dengan noise. Dilakukan analisa untuk modulasi 4-QAM, 8-QAM dan 16-QAM karena untuk mendeteksi nilai Eb/No pada modulasi 32-QAM dan 64-QAM sudah tidak dapat dilakukan karena konstelasi yang begitu rapat dan tidak bisa dibedakan nilai amplitude pada sisi penerima.

##### **4.5.1. Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 4-QAM**

Apabila sebelumnya dilakukan analisa berdasarkan daya pancar, maka pada kondisi ini dilakukan analisa berdasarkan nilai energi bit/noise. Pada Gambar 4.22, dapat terlihat bahwa perbandingan nilai BER dengan Eb/No memiliki kinerja yang sama seperti analisa sebelumnya. Untuk modulasi ini dapat terlihat jelas perbaikan antar nilai kombinasi, dimana perbaikan tersebut menunjukkan bahwa nilai pengkoreksi 3 ( $t=3$ ) memiliki kinerja yang paling baik dibandingkan nilai pengkoreksi lainnya.

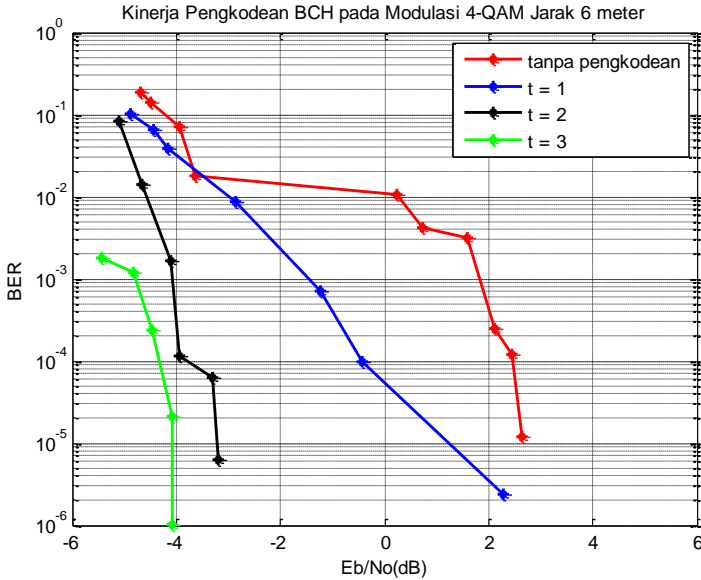


Kinerja Pengkodean BCH pada Modulasi 4-QAM Simulasi dan Hasil Pengukuran pada Jarak 3 meter



**Gambar 4. 46** Grafik BER Kode BCH terhadap  $E_b/N_0$  dengan modulasi 4-QAM pada jarak 3 meter

Hal tersebut juga berlaku untuk perbandingan pada jarak 6 meter. Pada jarak tersebut juga menunjukkan kinerja yang sama bahwa pengkoreksi 3 error memiliki kinerja yang paling baik dibandingkan dengan nilai pengkoreksi lainnya. Akan tetapi jika kita amati lebih lanjut, nilai  $E_b/N_0$  pada jarak 6 meter lebih besar dari jarak 3 meter. Hal tersebut ditunjukkan dengan range pada 3 meter yang berkisar antara -7 dB sampai -4 dB sedangkan untuk jarak 6 meter berkisar antara -5 dB sampai 2 dB.

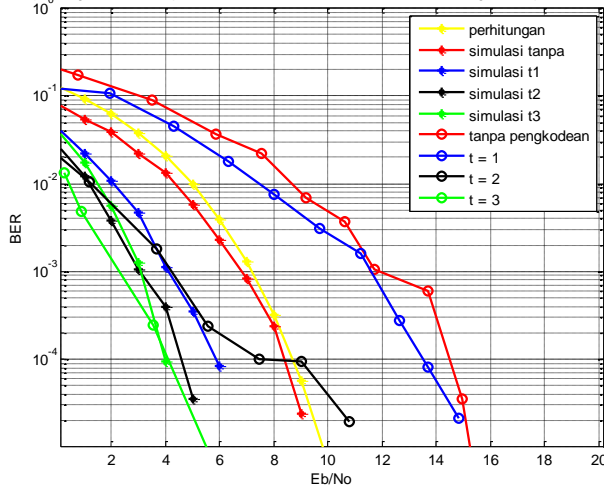


**Gambar 4. 47** Grafik BER Kode BCH terhadap  $E_b/N_0$  dengan modulasi 4-QAM pada jarak 6 meter

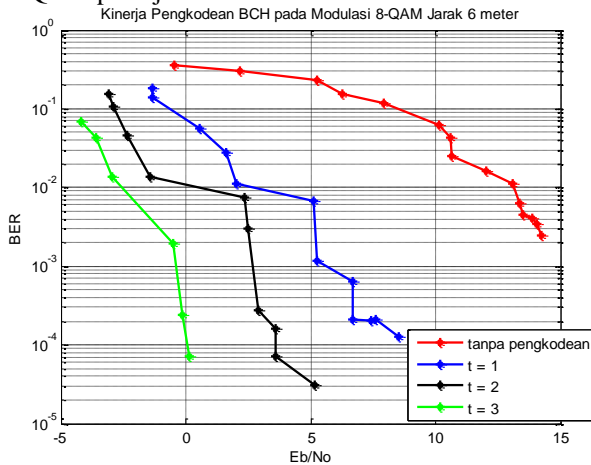
#### 4.5.2 Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 8-QAM

Kinerja pada modulasi 8-QAM ini memiliki nilai  $E_b/N_0$  lebih besar dari 4-QAM. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.24 yang menunjukkan nilai berkisar antara -4 dB sampai 13 dB untuk jarak 3 meter. Kinerja yang paling baik ditunjukkan oleh pengkoreksi 3 error yaitu BCH (31,16) karena pada saat nilai  $E_b/N_0$  2 dB sudah mencapai  $10^{-5}$ . Sedangkan untuk BCH (15,7) pada  $E_b/N_0$  yang sama mencapai nilai BER  $10^{-4}$  dan untuk BCH (7,4) mencapai nilai  $E_b/N_0$  hampir  $10^{-2}$ .

Kinerja Pengkodean BCH pada Modulasi 8-QAM Simulasi dan Hasil Pengukuran pada Jarak 3 meter



**Gambar 4. 48** Grafik BER Kode BCH terhadap Eb/No dengan modulasi 8-QAM pada jarak 3 meter



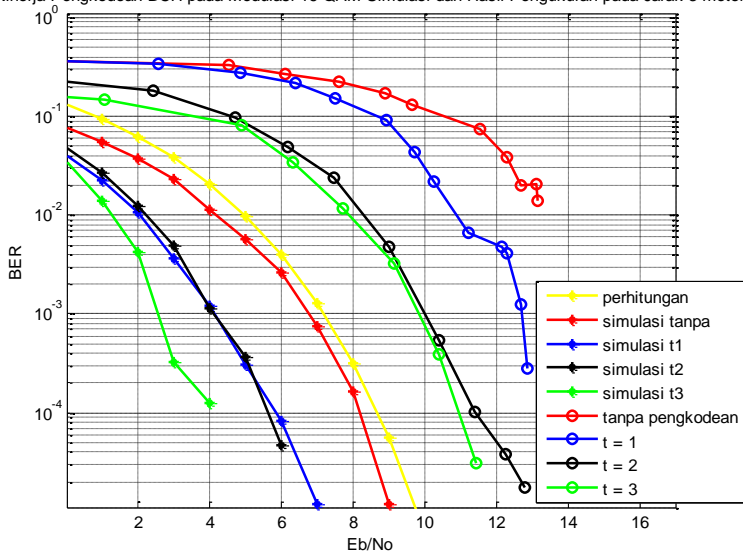
**Gambar 4. 49** Grafik BER Kode BCH terhadap Eb/No dengan modulasi 8-QAM pada jarak 6 meter

Pada Gambar 4.25, dapat diamati Eb/No menunjukkan nilai antara -4 dB sampai 14 dB. Pada kondisi jarak 6 meter ini kinerja yang paling baik ditunjukkan oleh BCH (31,16) dengan nilai Eb/No pada saat 0 dB sudah mencapai BER = 0.

#### 4.5.3 Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 16-QAM

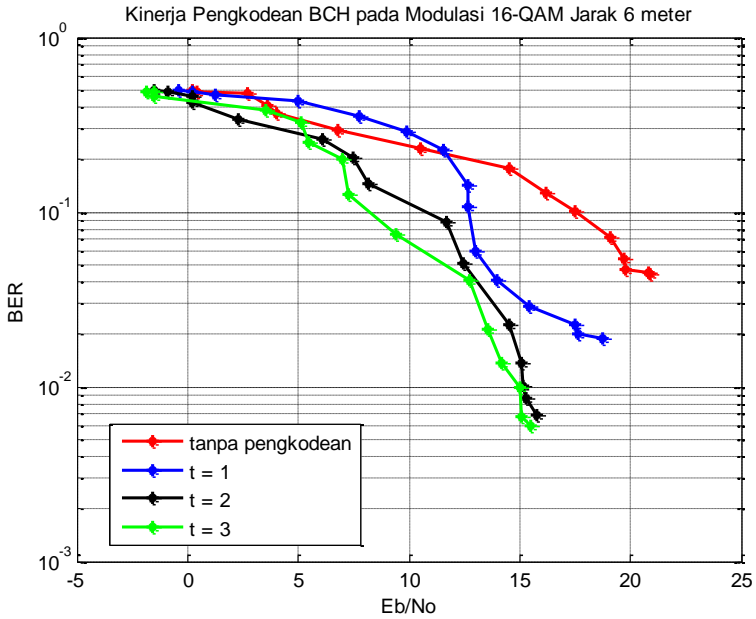
Pada modulasi 16-QAM ini memiliki nilai  $E_b/N_0$  yang lebih besar untuk bisa mencapai nilai BER terendah. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.26, untuk BCH (31,16) yang memiliki kinerja paling baik memiliki nilai  $E_b/N_0$  8 dB untuk mencapai nilai  $10^{-4}$ . Sedangkan kondisi tanpa pengkodean memiliki nilai BER paling tinggi dibandingkan dengan menggunakan, yaitu tidak mencapai nilai BER  $10^{-3}$  dengan  $E_b/N_0$  paling besar yaitu 14 dB.

Kinerja Pengkodean BCH pada Modulasi 16-QAM Simulasi dan Hasil Pengukuran pada Jarak 3 meter



**Gambar 4. 50** Grafik BER Kode BCH terhadap  $E_b/N_0$  dengan modulasi 16-QAM pada jarak 3 meter

Sedangkan untuk jarak 6 meter, perbaikan antara ketiga pengkodean BCH sudah mulai berdekatan nilai BER-nya. Sehingga pada kondisi jarak 6 meter ini perbaikan yang dilakukan tidak bisa mengurangi error secara keseluruhan yang dapat menghasilkan nilai  $BER = 0$ . Terlihat pada Gambar 4.27, nilai  $E_b/N_0$  berkisar antara -1 dB sampai 20 dB. Dan jika dibandingkan dengan modulasi lainnya, modulasi 16-QAM jarak 6 meter ini memiliki nilai  $E_b/N_0$  yang paling besar.



**Gambar 4. 51** Grafik BER Kode BCH terhadap  $E_b/N_0$  dengan modulasi 16-QAM pada jarak 6 meter

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Tugas Akhir.....	2
1.5. Metodologi Penelitian.....	2
1.6. Sistematika Penelitian.....	6
BAB II TEORI PENUNJANG.....	7
2.1 <i>Error Correcting Code</i> .....	7
2.2 Konsep Penyandian Siklis.....	8
2.3 Bose, Chaudhury, Hocquenghem (BCH).....	9
2.3.1 Polinomial Generator.....	10
2.3.2 Galois Field.....	12
2.3.3 Encoding pada Kode BCH.....	15
2.3.4 Perhitungan Sindrom.....	17
2.4 Modulasi Digital.....	18
2.4.1 <i>M-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM)</i> ....	19
2.2.2 Penentuan Amplitudo Sinyal.....	20
2.2.3 Gray Mapping (Gray Coding).....	20
2.5 <i>Filter Raised Cosine</i> .....	22
2.6 Teknik Estimasi BER (Bit Error Rate).....	23
2.7 <i>Software Defined Radio (SDR)</i> .....	24
2.8 Wireless Open Access Research Platform (WARP).....	25
2.8.1 Arsitektur Platform[7].....	26
2.8.2 Design Arsitektur WARPLab[7].....	27
2.8.3 Gambaran Framework WARPLab[12].....	29
2.8.4 Spesifikasi WARPLab[7].....	29
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM.....	31
3.1 Alur Perancangan Sistem.....	31

3.2	Perancangan Sistem .....	33
3.4.1	Pada Sisi Pengirim dan Penerima.....	33
3.4.2	Pada Kanal .....	47
3.3	Metode Pengukuran .....	48
3.4	Sistem .....	48
3.4.3	Karakteristik Radio Board WARP versi 1.4.....	48
3.4.4	Integrasi PC dengan modul WARP .....	50
3.4.5	Proses Pengiriman Sinyal dan Komunikasi.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		49
4.1.	Konstelasi Simbol pada Penerima .....	49
4.2.	Kinerja Pengkodean BCH dan Tanpa Pengkodean terhadap Gain pada Pemancar .....	51
4.2.1.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 4-QAM.....	51
4.2.2.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 8-QAM.....	56
4.2.3.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 16-QAM.....	60
4.2.4.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 32-QAM.....	64
4.2.5.	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 64-QAM.....	67
4.3.	Kinerja Pengkodean BCH pada Modulasi M-QAM .....	70
4.3.1	Kinerja kode BCH (7,4) dengan perubahan modulasi QAM .....	71
4.3.2	Kinerja kode BCH (15,7) dengan perubahan modulasi QAM .....	72
4.3.3	Kinerja kode BCH (31,16) dengan perubahan modulasi QAM .....	74
4.4.	Kinerja Pengkodean BCH dan Tanpa Pengkodean terhadap Eb/No.....	75
4.4.1	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 4-QAM.....	75
4.4.2	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 8-QAM.....	77

4.4.3	Kinerja Sistem dengan Kode BCH dan Tanpa Kode BCH pada Modulasi 16-QAM.....	79
BAB V	PENUTUP.....	103
5.1	Kesimpulan .....	103
5.2	Saran .....	103
DAFTAR	PUSTAKA .....	105
LAMPIRAN A	.....	107
LAMPIRAN B	.....	109
LAMPIRAN C	.....	117
LAMPIRAN D	.....	118



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kode BCH bekerja sebagai *error control coding* untuk memperbaiki BER pada proses pentransmisian data.
2. Modulasi M-QAM dengan kode BCH memiliki BER lebih kecil dibandingkan Modulasi M-QAM tanpa kode BCH. Pada kode BCH (31,16) jarak 3 meter pada daya pancar -14.5 dBm nilai BER = 0 sedangkan nilai BER untuk yang tanpa kode BCH = 0.0390714.
3. Besarnya daya pancar sangat mempengaruhi nilai BER, semakin besar daya pancar maka BER akan semakin kecil.
4. Nilai BER BCH (31,16) dengan kemampuan mengkoreksi 3 error memiliki BER yang paling kecil di antara BCH (7,4) dan BCH(15,7).
5. Kenaikan nilai level Modulasi berbanding lurus dengan nilai BER yang dihasilkan, semakin tinggi level modulasi yang digunakan, maka semakin tinggi pula nilai BER yang dihasilkan yang menyebabkan kinerja sistem menjadi tidak maksimal.
6. Kode BCH sudah tidak mampu mengatasi error pada modulasi 32-QAM dan 64-QAM ditunjukkan dengan nilai BER yang tidak mencapai nilai nol disetiap nilai kombinasi berbeda.
7. Pada pengaturan gain yang lebih tinggi, dalam hal ini mendekati gain maksimal yaitu 63, terjadi rotasi fasa yang disebabkan oleh karakteristik power amplifier dari modul WARP.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan tambahan sistem lainnya untuk lebih menyempurnakan kinerja dari kode BCH, misalnya penggabungan antara *error control coding*.

2. Melakukan analisa kode BCH dengan menggunakan modulasi lain, misalnya menggunakan modulasi koheren yaitu M-PSK atau modulasi nonkoheren yaitu DPSK.
3. Diperlukan adanya metode untuk mengatasi rotasi fasa seperti menggunakan metode costas loop, nonlinier modified constant modulus algorithm (NCMA) dan constant modulus algorithm (CMA)

## LAMPIRAN A

Jurusan Teknik Elektro – FTI  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Amilatul Husna  
Nomer Pokok : 2213105038  
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi dan Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Genap 2014/2015  
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Suwadi, MT  
2. Dr. Ir. Titiek Suryani, MT

12 FEB 2015

Judul Tugas Akhir : **Implementasi dan Evaluasi Kinerja Encoder-Decoder BCH pada Modulasi M-ary Quadrature Amplitude Modulation (QAM) dengan Menggunakan Wireless Open-Access Research Platform (WARP)**  
*Implementation and Performance Evaluation of BCH in M-QAM Modulation using Wireless Open-Access Research Platform (WARP)*

### Uraian Tugas Akhir :


Untuk menghasilkan suatu sistem komunikasi yang handal, dalam artian dapat meminimalkan error, perlu diterapkan suatu algoritma kode yang dapat mengoreksi sekaligus memperbaiki kesalahan bit serta didukung dengan teknik modulasi yang memadai untuk diterapkan bersamaan dengan teknik pengkodean. Salah satu dari kode koreksi kesalahan yang cukup populer adalah BCH sedangkan untuk teknik modulasi yang digunakan adalah dengan M-QAM. Metode kode BCH merupakan pengembangan dari metode kode Hamming yang mampu mengoreksi beberapa kesalahan (*multiple error*) sekaligus.


Implementasi Kode BCH dengan modulasi M-QAM pada *Wireless Open-Access Research Platform (WARP)* merupakan salah satu jenis *Software Defined Radio (SDR)*. Modul WARP tersebut akan digunakan sebagai model pemancar dan penerima pada pengukuran kualitas kinerja sistem pengkodean BCH yang menggunakan modulasi M-QAM pada *software* MATLAB. Kode rate untuk pengkodean BCH yang digunakan yaitu (7,4) dengan kemampuan koreksi 1 kesalahan, (15,7) dengan kemampuan koreksi 2 kesalahan, dan (31,16) dengan kemampuan koreksi 3 kesalahan. Pada tugas akhir ini akan diteliti kemampuan ketiga kombinasi dari pengkodean BCH tersebut untuk meningkatkan kinerja *Bit Error Rate (BER)* menggunakan modulasi M-QAM dengan nilai M yang bervariasi dengan meninjau BER terhadap variasi  $E_b/N_0$  untuk simulasi dan variasi daya pancar pada pengirim untuk pengukuran menggunakan WARP.

Kata Kunci : BCH, M-QAM, WARP, *Bit Error Rate*

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
**Dr. Ir. Suwadi, MT**  
NIP. 19680818 1993031 002

  
**Dr. Ir. Titiek Suryani, MT**  
NIP. 19641130 1989032 001

Mengetahui,  
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS  
Ketua,

Menyetujui,  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Koordinator,

  
**Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.**  
NIP. 197002121995121001

  
**Dr. Ir. Endrovoono, DEA**  
NIP. 196504041991021001

Gambar A.1 Lembar Pengesahan Proposal Tugas Akhir

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN B

### Program 1

% Proses inisialisasi sistem. dimana Hal yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- % - Definisi vektor waktu
- % - Definisi Frekuensi sampling sistem
- % - Definisi sistem modulasi

%Frek. sampling dan waktu sampling

Fs = 40e6;

Ts = 1/Fs;

%Vektor waktu

L = 2^14;

t = (0:L-1)/Fs;

%Sistem modulasi yang digunakan

M = 4;

k = log2(M);

if M > 2

    ph\_off = 0;

    h\_bb\_mod =

modem.qammod('M',M,'PhaseOffset',ph\_off);

    h\_bb\_demod =

modem.qamdemod('M',M,'PhaseOffset',ph\_off);

else

    h\_bb\_mod = modem.qammod('M',M);

    h\_bb\_demod = modem.qamdemod('M',M);

end

### Program 2

%% FRAME\_TX.m

% Proses pembentukan frame untuk proses transmisi data. Pada tiap-tiap

% langkah akan dijabarkan proses pembentukan frame.

%Data bit

```

% definisi data biner yang ditransmisikan. Data
bisa berbentuk apapun,
% misalnya, biner acak/ data dari
suara/gambar/video

%Random binary
mo=3;
n=2^mo-1;
kk=4;
bits = 84000;
rand('seed');n_bin = randi([0 1],bits,1);

n_binz=reshape(n_bin,1,[]);
n_sym = reshape(n_bin,[],kk);
n_dat = gf(n_sym);
encoder = bchenc(n_dat,n,kk);
aa = double(encoder.x);
satu_baris = reshape(aa,1,[]);
n_bits = length(satu_baris);
n_syms = n_bits/k;
n_sim = reshape(satu_baris,n_syms,k);
n_dat1 = bi2de(n_sim,'left-msb');

%Baseband Modulation
% Mulai proses modulasi baseband (BB). Kecuali
preamble dan CSI, semua symbol frame akan
mengalami modulasi baseband.
n_sym_dat = modulate(h_bb_mod,n_dat1);

%Hitung total data payload yang dibutuhkan,
setelah dikurangi preamble,txDelay dan CSI bits
%Tentukan symbol rate, cari nilai upsample rate
untuk SRRC Filter. Satuan symbol rate adalah
symbol/s
Rsym = 3e6;
nsamp = floor(Fs/Rsym);
%Nilai nsamp harus integer, setelah pembulatan
kebawah, hitung rate symbol sebenarnya.
Rsym = Fs/nsamp;

%Pembentukan Preamble

```

```

% Preamble bertujuan untuk penentuan titik
sampling pertama pada penerima.
pream = [0;0;0;0;-1+1i;1-1i;-1+1i;-1+1i;-1+1i;1-
1i;-1+1i;0;0;0;0;0;0;0;0];
pream_len = length(pream);

%Correlation Matrix
% Pembentukan matriks korelasi preamble
corr_win = 300; %at least corr_win >=
pream_len*nsamp
pream_up = upsample(pream,nsamp);
ref_vect = zeros(corr_win,1);
ref_vect(1:length(pream_up)) = pream_up;
ref_matx =
toeplitz(ref_vect,circshift(ref_vect(corr_win:-
1:1),1));

%Definisi Transmission delay
% Panjang frame L akan dikurangi sejumlah delay
untuk menangani transmission delay. Jika semua
frame terisi informasi, ketika terjadi delay
pada proses transmisi, maka akan ada data yang
tidak tertangkap pada penerima. Sehingga
diperlukan delay transmisi. Satuan : sampel
txDelay = 400;

% %Phase ambiguity detector/ Channel State
Information sequence
% % Bertujuan untuk menangani ambiguitas
fasa/perputaran pada konstellasi.
CSI_syms = 150; %Jumlah simbol untuk CSI
CSI_dat = ones(CSI_syms,1);

%Desain Square Root Raised Cosine
%Parameter desain menggunakan nsamp sebagai
upsample rate, N_SRRRC sebagai orde filter dan
roll-off factor R_SRRRC
shape = 'Square Root Raised Cosine';
N_Ord = 6; %Genap
R_SRRRC = 0.9; %[0-1]

```



```

SRRC_spec =
fdesign.pulses shaping(nsamp, shape, 'Nsym, Beta', N_Ord, R_SRRC);
h_SRRC = design(SRRC_spec);
flt_delay = h_SRRC.order/2; %or nsamp*N_Ord
norm_factor = max(h_SRRC.numerator);
h_SRRC.numerator = h_SRRC.numerator/norm_factor;

%Jumlah simbol maksimum yang bisa dimuat dalam
satu transmission frame, data_sym mencakup CSI
dan data yang ditransmisikan
data_sym = floor((L-(pream_len*nsamp)-
txDelay)/nsamp);

%Bit stuffing and frame construction
% Bit stuffing adalah memasukan simbol 1 (CSI)
secara periodik dalam 1 frame transmisi. Fungsi
bit stuffing ini adalah sebagai metode untuk
melakukan interpolasi dan estimasi kanal pada
penerima. Dalam satu frame transmisi akan
memiliki total simbol <= data_sym tergantung
dari jumlah
% simbol CSI yang digunakan.
% Representasi grafis bit stuffing:
% |-----data_sym-----
-----|
% CSI - <sub-frames> -- CSI - <sub-frames> --
... - <sub-frames> -- CSI

%Tentukan jumlah simbol data diantara simbol CSI
sym_size = floor(data_sym/(CSI_syms-1))-1;
%Tentukan total sub-frame data
sub_frame = CSI_syms-1;
%Total panjang frame aktual dengan stuffed bits
fr_len = sub_frame*sym_size + CSI_syms;
%Update nilai data_sym
data_sym = fr_len - CSI_syms;
%Hitung total frame data, hitung padding,
tambahkan bit stuffing
n_frames = ceil(n_syms/data_sym)

```

```

stuff_sym = [upsample(CSI_dat(1:CSI_syms-
1),sym_size+1);CSI_dat(end)];
n_dat_fr = repmat(stuff_sym,1,n_frames);
pad = n_frames*data_sym - n_syms;
%Tambahkan zero padding pada symbol
n_sym_dat = [n_sym_dat;zeros(pad,1)];
%Reshape n_sym_dat
n_sym_dat =
reshape(n_sym_dat,data_sym,n_frames);

%Bagi data menjadi beberapa frame, tambahkan bit
stuffing
for ii=1:n_frames
    n_dat_fr(:,ii) =
sym_stuffing(n_dat_fr(:,ii),n_sym_dat(:,ii),sym_
size);
end

%Tambahkan preamble
temp_mat1 = repmat(pream,1,n_frames);
xt_dat = [temp_mat1;n_dat_fr];

%Interpolasi, matched filtering, tambahkan
filter delay
xt_mf_bb =
filter(h_SRRC,[upsample(xt_dat,nsamp);zeros(flt_
delay,n_frames)]);
xt_mf = zeros(size(xt_mf_bb));

%Upconvert semua frame, normalisasi
time = [(0:length(xt_mf)-1)/Fs].';
f = 5e6;
for ii=1:n_frames
    xt_mf(:,ii) =
xt_mf_bb(:,ii).*exp(1i*2*pi*f*time);
    norm_fact = max( [ max(real(xt_mf(:,ii))) ,
max(imag(xt_mf(:,ii))) ] );
    %Normalize frame
    xt_mf(:,ii) = xt_mf(:,ii)./norm_fact;
end

```

### Program 3

```
%%FRAME_RX.m
% File ini akan menjalankan proses demodulasi
% hasil transmisi pada WARP.
% Proses demodulasi meliputi:
%   - Sinkronisasi
%   - Downconvert
%   - Matched Filtering
%   - Timing recovery (Preamble)
%   - Baseband demodulation
% Setelah proses baseband modulation, skema SIMO
% dilakukan pada
% simbol-simbol yang diterima pada kanal yang
% berbeda. Kemudian proses hard
% detection dilakukan, lalu perhitungan bit
% error rate

%Sinkronisasi dan Downconvert semua frame
time = ((0:length(rx_IQ)-1)/Fs).';
rx_IQ_disp = rx_IQ;
for ii=1:n_frames
    %vco_sig = syn_frame(rx_IQ(:,ii),f,Fs);
    vco_sig = exp(1i*2*pi*f*time);
    rx_IQ(:,ii) = rx_IQ(:,ii).*conj(vco_sig);
end

%Sinkronisasi fasa

%Matched filtering
hrx_SRRC = design(SRRC_spec);
hrx_SRRC.numerator = hrx_SRRC.numerator *
(norm_factor*nsamp);
yt_mf =
filter(hrx_SRRC,[rx_IQ;zeros(flt_delay,n_frames)
]);

yt_rx_data = zeros(size(n_dat_fr));
z_sym = zeros(size(n_sym_dat));
ch_est = zeros(size(n_dat_fr));

%Deteksi simbol pertama pada tiap-tiap frame
```

```

for ii=1:n_frames
    temp_vct1 = yt_mf(:,ii);

    %Cari korelasi tertinggi
    correlation = abs( (temp_vct1(1:corr_win)')
* ref_matx );
    pream_start = find(correlation ==
max(correlation));
    first_sample = pream_start+length(pream_up);

    %Downsampling
    temp_vct2 = temp_vct1(first_sample:end);
    %Determine Maximum likelihood first optimum
sampling point
    %ML_samp = ML_first_sym(temp_vct2,nsamp);
    %Start sampling at initial point
    temp_vct31 =
downsample(temp_vct2(1:end),nsamp);

    %Trim
    temp_vct32 = temp_vct31(1:fr_len);

    %Save trimmed vector
    yt_rx_data(:,ii) = temp_vct32;

    %Estimasi kanal
    ch_est(:,ii) =
[estimate_chan(yt_rx_data(:,ii),sym_size)];

    %Received symbols:
    temp_vct33 = yt_rx_data(:,ii);
    temp_vct33(:,ii) = yt_rx_data(:,ii)
.*conj(ch_est(:,ii));
    multip = [abs(ch_est(:,ii)).^2];
    yt_rx_data2(:,ii) = (yt_rx_data1(:,ii))
./0.28;

    %Symbol de-stuffing
    temp_vct34 =
sym_destuffing(yt_rx_data2(:,ii),sym_size);

```

```

        %Potong semua frame CSI, kumpulkan hasil
        data pada matriks tertentu
        z_sym(:,ii) = temp_vct34;
    end

    %Ubah yt_rx_data menjadi vektor, potong yt_syms
    yt_syms = reshape(z_sym,data_sym*n_frames,1);
    yt_syms = yt_syms(1:length(n_dat1));

    %Potong z_sym agar memiliki panjang sama dengan
    n_dat
    z_sym = z_sym(1:length(n_dat1));
    rx_asiso= z_sym;

    yy= de2bi(rx_asiso,'left-msb');
    rx_bit=reshape(yy,[],n);
    gaalois = gf(rx_bit);
    decode = bchdec(gaalois,n,kk);
    decode1 = double(decode.x);
    decode2 = reshape(decode1,1,[]);
    [num_err1, BERCODE] = biterr(n_binz,decode2)

    h = scatterplot(yt_syms,1,0,'b. ');
    hold on;
    scatterplot(n_sym_dat(:,1),1,0,'r*',h);
    title('Constellations');
    legend('Received','Transmitted','Location','SouthOutside','Orientation','Horizontal');
    grid
    hold off;
    title([])

```

## LAMPIRAN C



**Gambar C. 1** Pengukuran pada lingkungan *Indoor* dengan jarak 3 meter NLOS

## LAMPIRAN D

### Datasheet power amplifier



**AWL6951**  
2.4/5 GHz 802.11a/b/g/n  
WLAN Power Amplifier  
Data Sheet - Rev 2.1

#### FEATURES

- 3.3 % EVM @  $P_{OUT} = +19$  dBm with IEEE 802.11a 64 QAM OFDM at 54 Mbps
- 2.9 % EVM @  $P_{OUT} = +20$  dBm with IEEE 802.11g 64 QAM OFDM at 54 Mbps
- -36 dB ACPR 1st Sidelobe, +21 dBm, with 802.11b CCK/DSSS Root Cosine Filtering, 1 Mbps
- -54 dB ACPR 2nd Sidelobe, +21 dBm, with 802.11b CCK/DSSS Root Cosine Filtering, 1 Mbps
- 32 dB of Linear Power Gain at 2.4 GHz
- 29 dB of Linear Power Gain at 5 GHz
- Single +3.3 V Supply
- Operational Voltage Range Extended to +4.4 V Max
- Dual Temperature-Compensated Linear Power Detectors
- 50  $\Omega$  - Matched RF Ports
- 1 kV ESD Rating (HBM)
- 4 mm x 4 mm x 1.3 mm Surface Mount Module

#### APPLICATIONS

- 802.11a/b/g/n WLAN: Notebooks, VoIP Handsets, PDA Mobile Phones

#### PRODUCT DESCRIPTION

The ANADIGICS AWL6951 dual band power amplifier is a high performance InGaP HBT power amplifier module designed for transmit applications in the 2.4-2.5 GHz and 4.9-5.9 GHz band. Matched to 50  $\Omega$  at all RF inputs and outputs, the part requires no additional RF matching components off-chip, making the AWL6951 the world's simplest dual band PA module implementation available. The PA exhibits unparalleled linearity and efficiency for IEEE 802.11g, 802.11b and 802.11a WLAN systems under the toughest signal configurations within these standards.

The power detectors are temperature compensated on chip, enabling separate single-ended output voltages for each band with excellent accuracy over a wide range of operating temperatures. The PA is biased by a single +3.3 V supply and consumes ultra-low current in the OFF mode.

The AWL6951 is manufactured using advanced InGaP HBT technology that offers state-of-the-art reliability, temperature stability and ruggedness.

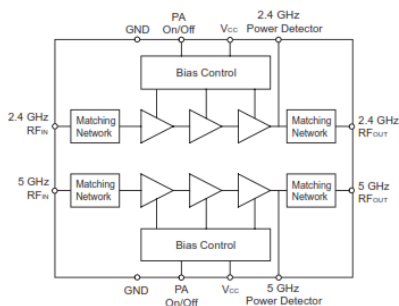
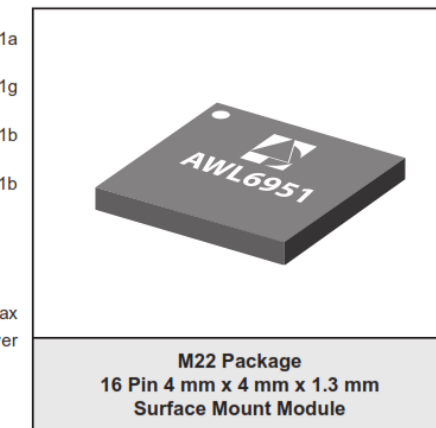
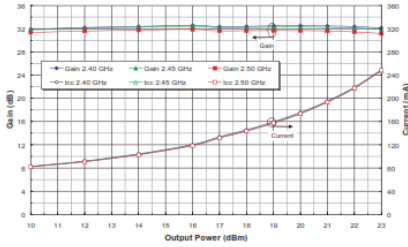


Figure 1: Block Diagram and Pinout

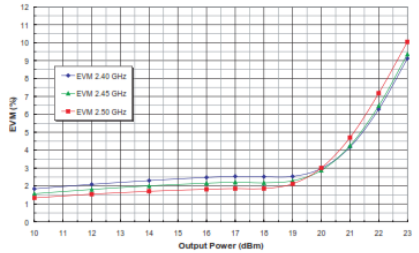
09/2007

802.11g PERFORMANCE DATA at  $V_{CC} = +3.3\text{ V}$ 

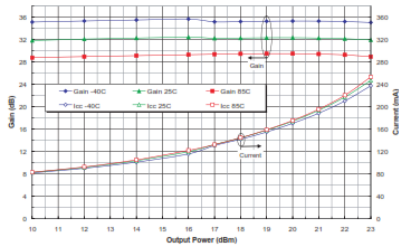
**Figure 2: Gain and  $I_{CC}$  vs. Output Power Across Frequency ( $V_{CC} = +3.3\text{ V}$ ,  $T_C = +25^\circ\text{C}$ )**  
802.11g 54 Mbps OFDM



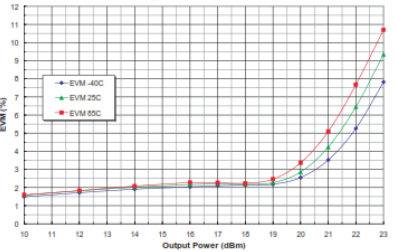
**Figure 3: EVM vs. Output Power Across Frequency ( $V_{CC} = +3.3\text{ V}$ ,  $T_C = 25^\circ\text{C}$ )**  
802.11g 54 Mbps OFDM



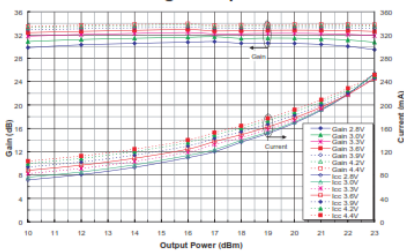
**Figure 4: Gain and  $I_{CC}$  vs. Output Power Across Temp (Frequency = 2.45 GHz,  $V_{CC} = +3.3\text{ V}$ )**  
802.11g 54 Mbps OFDM



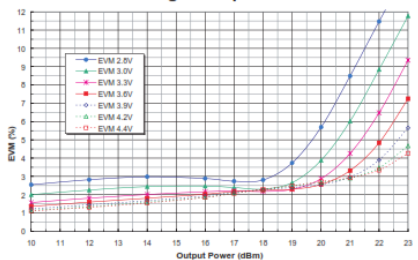
**Figure 5: EVM vs. Output Power Across Temp (Frequency = 2.45 GHz,  $V_{CC} = +3.3\text{ V}$ )**  
802.11g 54 Mbps OFDM



**Figure 6: Gain and  $I_{CC}$  vs. Output Power Across Supply Voltage (Freq = 2.45 GHz,  $T_C = 25^\circ\text{C}$ )**  
802.11g 54 Mbps OFDM



**Figure 7: EVM vs. Output Power Across Supply Voltage (Freq = 2.45 GHz,  $T_C = 25^\circ\text{C}$ )**  
802.11g 54 Mbps OFDM





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## RIWAYAT HIDUP



Amilatul Husna dilahirkan di Surabaya pada tanggal 6 Januari 1992. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Heri Prabowo dan Ainul Izzah. Penulis memulai pendidikan formal di SDN Wonorejo 274 Surabaya dari tahun 1998-2004, SMP Muhammadiyah 5 Surabaya pada tahun 2004-2007, SMAN 16 Surabaya pada tahun 2007-2010. Setelah lulus SMA penulis melanjutkan studi D3 di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jurusan Teknik Telekomunikasi 2010-2013 dan pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi strata 1 (S1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro Program Studi Telekomunikasi Multimedia. Penulis menulis buku ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana.